

**П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарний, В.С. Ступак**

**ДОВІДНИК  
з РАДІОМОНІТОРИНГУ**

**Під загальною редакцією П.В. Слободянюка**

**Ніжин  
"Видавництво "Аспект-Поліграф"  
2008**

УДК 621.396.6(03)

ББК 32я2

Д58

Рецензент: доктор технічних наук, професор В.Ф. Олійник

**Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С.**

Д58 Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. –

Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2008. - 588 С.: іл.

ISBN 978-966-340-295-6

Розглянуті основні процедури регулювання та нормативно-правові засади діяльності у сфері користування радіочастотним ресурсом України, особливості організації проведення радіомоніторингу у смугах частот роботи радіоелектронних засобів різних радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку та здійснення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання їхніх передавачів. Викладені основні методи контролю та вимірювання параметрів радіовипромінювання. Розкрито особливості організації систем радіочастотного моніторингу в різних країнах світу та в Україні. Визначені вимоги до функціональних і технічних можливостей технічних засобів і обладнання радіомоніторингу. Наведено переліки нормативно-правових актів України та чинних вітчизняних і зарубіжних нормативних документів, що регламентують питання регулювання у сфері використання радіочастотного ресурсу України та визначають технічні характеристики сучасних засобів радіозв'язку. Розкриті принципи організації мереж радіозв'язку та основні технічні характеристики радіоінтерфейсів і обладнання сучасних радіотехнологій, систем і стандартів радіозв'язку.

Розрахована на фахівців у галузі радіочастотного моніторингу та радіочастотного контролю, операторів радіочастотного контролю, може бути корисною студентам вищих навчальних закладів, слухачам закладів підвищення кваліфікації та всім, хто цікавиться питаннями радіомоніторингу й сучасного радіозв'язку.

УДК 621.396.6(03)

ББК 32я2

ISBN 978-966-340-295-6

Благодарний, В.Г., Ступак В.С., 2008

© Слободянюк П.В.,

© Український державний центр

радіочастот, 2008

Стрімкий розвиток галузі телекомунікацій в Україні, з одного боку, та інерційність нормативно-правових чинників у цій сфері, з іншого, вимагають від державних органів у сфері регулювання використання радіочастотного ресурсу створення більш сприятливих умов для ефективного використання цього стратегічного ресурсу держави, розвитку діючих та впровадження новітніх радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, задоволення попиту громадян України в нових видах та послугах зв'язку.

Вирішення цих завдань неможливе без повноцінного володіння інформацією стосовно реального стану використання радіочастотного ресурсу в державі, виявлення випадків порушення чинного законодавства у цій сфері та усунення їхньої дії. Одним із найефективніших інструментів отримання такої інформації є радіочастотний моніторинг.

На жаль, у нині відомій науково-технічній літературі міститься вкрай мало інформації про методи проведення моніторингу радіочастотного спектра та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів. Більше того, в більшості видань питання організації радіоінтерфейсів мереж радіозв'язку розкриті, як правило, вузькоспеціалізовано й для обмеженого класу (категорії) радіотехнологій.

Тому появу довідника, який містить досить цінну інформацію про організацію мереж зв'язку, технічні характеристики та параметри сигналів і радіовипромінювань передавачів, про методи доступу до середовища передавання даних, розширення спектра та модуляції сигналів, які застосовуються в більшості сучасних радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, методи проведення моніторингу спектра й технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів можна розглядати як надзвичайну, своєчасну та дуже актуальну подію у сфері радіочастотного моніторингу. В довіднику також наведені вичерпні відомості про системи, стаціонарні та мобільні комплекси радіомоніторингу, засоби технічного радіоконтролю та обладнання радіомоніторингу багатьох світових виробників.

Довідник дуже гарно ілюстрований, розкриває нормативно-правові засади у сфері радіочастотного моніторингу і містить повний перелік чинних нормативно-правових документів щодо вимог до технічних параметрів та характеристик радіоелектронних засобів і методів їхнього контролю.

Книга може бути корисною для студентів та інженерів у галузі радіочастотного моніторингу, а також фахівців, які цікавляться питаннями радіозв'язку.

Ректор Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова,

д.т.н. професор

Воробієнко П. П.

Проблемам удосконалення системи управління радіочастотним ресурсом надається велике значення в усіх країнах світу, оскільки від того, наскільки ефективно він використовується залежить як соціальний, так і економічний розвиток країни.

У зв'язку зі стрімкими темпами розвитку техніки радіозв'язку, впровадженням нових радіотехнологій та їх конвергенції, зростанням швидкостей передавання все більших обсягів інформації, потреба в радіочастотному спектрі загального користування з кожним роком суттєво зростає, тому особливо значну роль у процесі вдосконалення системи управління радіочастотним спектром має моніторинг радіочастотного спектра, який дозволяє визначати ефективність використання радіочастотного ресурсу, забезпечувати електромагнітну сумісність діючих радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв, виявляти джерела електромагнітних завад.

Необхідно відмітити, що в Україні раніше не видавалися книги, в яких так повно висвітлювалися б питання, пов'язані з проблемами використання радіочастотного спектра, його дистанційного контролю та моніторингу.

В сукупності матеріали даного видання охоплюють основні аспекти проблем радіочастотного моніторингу та технічного радіоконтролю практично для всіх нині діючих радіотехнологій і викладені з урахуванням нормативно-правових засад щодо діяльності у сфері користування радіочастотним ресурсом.

Довідник дає необхідні, на даному етапі розвитку радіотехніки, професійні знання фахівцям із радіоконтролю для вирішення досить важливих і складних технічних завдань, пов'язаних із забезпеченням електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв у процесі їхньої експлуатації та ефективного використання радіочастотного ресурсу і може бути корисною також для підготовки й перепідготовки фахівців з інфокомунікаційних технологій.

Ректор

Державного університету Інформаційно-комунікаційних технологій,

д.т.н. професор

Кривуца В.Г.



На протязі останніх років настільною книгою всіх фахівців у сфері радіочастотного моніторингу був та залишається Довідник з радіоконтролю (Spectrum Monitoring Handbook), який містить загальні рекомендації стосовно організації та забезпечення радіочастотного моніторингу, методів його проведення, методів вимірювання технічних параметрів радіовипромінювання та інші супутні матеріали. Але з часом з'являються та впроваджуються нові радіотехнології, системи й стандарти зв'язку, організація мереж яких ґрунтується на застосуванні інших принципів і методів та які використовують нові види сигналів, виявлення й вимірювання електричних параметрів яких потребує застосування нових, не відомих раніше, підходів до вирішення питань контролю за станом використання радіочастотного ресурсу.

Вирішення зазначених завдань потребує певних знань щодо принципів організації мереж зв'язку новітніх радіотехнологій, технічних характеристик і параметрів випромінювання їхніх радіоелектронних засобів, функціональних і технічних можливостей обладнання радіочастотного моніторингу.

Більшість відповідей на такі питання можна знайти в запропонованому Довіднику з радіомоніторингу, який містить вичерпний обсяг інформації про основні процедури у сфері регулювання використання радіочастотного ресурсу, принципи й структури організації систем радіочастотного моніторингу в провідних країнах Європи, методи проведення моніторингу спектра й технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів радіоелектронних засобів діючих радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку. Крім того, видання фактично є першою монографією з питань радіомоніторингу в Україні.

Особливу увагу, безумовно, привертає наведений аналіз принципів організації мереж зв'язку, особливостей технічних характеристик і параметрів радіовипромінювання всіх відомих нині радіотехнологій та систем зв'язку.

Потрібно також відмітити, що авторський колектив представлений провідними фахівцями в галузі радіочастотного моніторингу в Україні, відомими за своїми численними публікаціями в періодичних науково-технічних виданнях.

Довідник може бути корисним для студентів, інженерів і фахівців у галузі радіочастотного моніторингу.

Директор Харківського державного регіонального центру технічного захисту інформації, начальник кафедри багатоканального електро-зв'язку Харківського національного університету радіоелектроніки,

д.т.н., професор

Поповський В.В.

Автори спробували викласти матеріал настільки просто, наскільки це можливо.

Але не простіше.

### Передмова

Радіочастотний моніторинг є найефективнішим інструментом отримання об'єктивної інформації стосовно стану електромагнітної обстановки та використання радіочастотного ресурсу (РЧР) в державі для забезпечення підвищення ефективності регулювання у сфері користування РЧР, упровадження новітніх радіотехнологій, систем і стандартів та нових послуг зв'язку.

Однак, сучасний рівень радіомоніторингу не завжди встигає за стрімким розвитком сфери телекомунікацій. Упровадження новітніх радіотехнологій, які ґрунтуються на використанні складних видів радіосигналів, зокрема, сигналів з розширенням спектра та шумоподібних сигналів, а також освоєння вищих діапазонів частот вимагають нагального вирішення питань стосовно методів радіомоніторингу і вимірювання параметрів таких сигналів.

Разом з тим треба відмітити, що в сучасній науково-технічній літературі міститься вкрай мало інформації стосовно вирішення питань радіомоніторингу використання радіочастотного спектра (РЧС) радіоелектронними засобами (РЕЗ) новітніх радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку.

Безумовно, серед наявної літератури найбільшу увагу привертають Довідник з радіоконтролю [1] і видання "Основи радіочастотного контролю" [2], але, враховуючи те, що останнє англomовне видання Довідника [3] датується 2000 роком, деякі його положення відстають від сучасного рівня розвитку телекомунікацій і не відповідають на певне коло запитань, які на час публікації важко було передбачити. Крім того, підходи до визначення завдань та принципів побудови систем радіомоніторингу викладені в ньому досить узагальнено, що потребує їхнього окремого розгляду з урахуванням особливостей національного регулювання у сфері користування РЧР, сучасного рівня розвитку телекомунікацій та можливостей автоматизації процесів радіомоніторингу. Наведені методи інструментального оцінювання параметрів радіосигналів також не враховують вимоги щодо вимірювання параметрів радіовипромінювань РЕЗ новітніх радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку.

Метою даної публікації є спроба часткового вирішення зазначених проблем. У книзі використані матеріали доступних науково-технічних видань, нормативних документів та науково-дослідних робіт.

У Розділі 1 викладені основні завдання служби радіомоніторингу, методи виконання радіомоніторингу (безпосередньо моніторингу спектра та технічного радіоконтролю) і висвітлені деякі питання термінології, що використовується у сфері радіочастотного моніторингу.

Розділ 2 містить інформацію стосовно процедур регулювання у сфері використання РЧР в Україні.

У Розділі 3 розглянуті нормативно-правові засади діяльності у сфері користування РЧР України.

У Розділі 4 викладені методи й алгоритми вимірювання та інструментального оцінювання електричних параметрів радіопередавачів та основних параметрів радіовипромінювання: частоти, ширини спектра частот, напруженості електромагнітного поля, девіації частоти, зайнятості частот, радіочастотних каналів, смуг і діапазонів частот.

У Розділі 5 наведені основні принципи й методи пеленгування джерел радіовипромінювання та надані пропозиції стосовно організації їхнього пеленгування та визначення місцезнаходження.

Розділ 6 містить інформацію стосовно механізмів і особливостей поширення радіохвиль у різних діапазонах частот, які використовуються для радіозв'язку в сучасних телекомунікаційних мережах і які необхідно враховувати під час організації радіомоніторингу.

У Розділі 7 розглянуті основні методи, що забезпечують множинний доступ користувачів до середовища передавання даних (до телекомунікаційних мереж), методи розширення спектра та методи модуляції сигналів, які застосовуються в сучасних радіоелектронних засобах.

У Розділі 8 наведена класифікація за певними критеріями найпоширеніших сучасних радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, розкриті принципи організації їхніх мереж, наведені технічні параметри та характеристики радіовипромінювання передавачів і стислі пропозиції стосовно технології моніторингу спектра в діапазонах частот, виділених для роботи деяких із цих радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання їхніх передавачів.

Розділ 9 присвячений огляду обладнання, призначеного для проведення радіочастотного моніторингу та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання, яке нині пропонується провідними виробниками у цій галузі.

В Розділі 10 наведені загальні пропозиції стосовно організації системи радіочастотного моніторингу та розкрита система радіомоніторингу в смугах радіочастот загального користування в Україні, яка представлена системою радіомоніторингу ДП "Український державний центр радіочастот".

Автори висловлюють глибоку вдячність рецензенту проф. В.Ф. Олійнику за слушні зауваження та цінні пропозиції щодо вдосконалення змісту Довідника, Корсаку В.Ф., Тичинському А.В., Шматку А.В., Слову М.В. і Гепку І.О. за корисні та кваліфіковані поради, без яких ця книга втратила б дуже багато, проф. Ільницькому Л.Я. за люб'язно надані матеріали, що використані у підрозділі 8.4, і за ілюстративні матеріали Сахненку Д.Л. (спектрограми радіовипромінювання) та Бучельнікову І.В. (фотографії).

Інтенсивний розвиток сфери телекомунікацій безпосередньо пов'язаний з упровадженням у практику нових радіо технологій і систем зв'язку, появою нових послуг і видів зв'язку. В цих умовах забезпечення потреб у радіочастотному ресурсі (1) усіх категорій користувачів здійснюється за рахунок перерозподілу вже освоєних і подальшого освоєння нових діапазонів в частот.

Перерозподіл частот, у свою чергу, призводить до збільшення навантаження на вже освоєні діапазони радіочастот, що зумовлено зростанням кількості діючих РЕЗ, і до ускладнення електромагнітної обстановки. Освоєння же нових діапазонів частот диктує необхідність виділення смуг радіочастот для нових радіо технологій, систем і стандартів зв'язку. В цих умовах управління РЧР і забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ та випромінювальних пристроїв (ВП) мають важливе практичне значення.

Необхідність регулювання використання РЧР визнали ще на початку розвитку радіозв'язку. Основним документом, що визначає порядок управління використанням РЧР на міжнародному рівні, є Регламент радіозв'язку [4], який був прийнятий ще у 1903 році. Тоді ж було здійснено перше виділення радіочастот.

Регламент радіозв'язку включає до себе Міжнародну таблицю розподілу смуг радіочастот (МТРЧ) між радіослужбами. З розвитком сфери телекомунікацій, виникненням нових радіо технологій і систем зв'язку періодично переглядався й зміст Регламенту радіозв'язку, який регулювався в міжнародному масштабі. З кожним його переглядом поступово зростала верхня межа РЧР, що певною мірою відображало темпи освоєння РЧС. Треба відмітити, що верхня границя смуги радіочастот, яка, згідно із МТРЧ, була визнана придатною для використання, аж до 1922 року обмежувалася частотою лише 200 кГц (частоти понад 200 кГц вважалися обмежено придатними чи навіть зовсім непридатними для радіозв'язку і були виділені радіоаматорам).

Динаміка зміни верхньої межі розподіленого РЧС відображена в таблиці 1 [5].

Уже в 1927 році, поряд із розширенням діапазону придатних для використання частот до 60 МГц, були визначені певні правила міжнародної реєстрації радіочастот, розроблені стандарти на параметри випромінювання радіо-

**Примітка 1.** Тут і далі під РЧР мається на увазі «Частина радіочастотного спектра, придатна для передавання та (або) приймання електромагнітної енергії радіоелектронними засобами і яку можна використовувати на території України та за її межами відповідно до законів України та міжнародного права, а також на виділених для України частотно-орбітальних позиціях» [6]. Нині ця частина становить близько 9 % (275 ГГц) від загальної ширини **радіочастотного спектра**, який визначений у [4] як «Безперервний інтервал радіочастот, не вищий за 3 ТГц».

обладнання та методи їхнього контролю й установлені деякі обмеження на значення параметрів радіовипромінювання передавальних пристроїв. Норми на стабільність частоти та ширину смуги частот передавачів уперше були визначені в Рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) в 1932 році, а вже в 1938 році була прийнята рекомендація стосовно необхідної смуги частот випромінювання передавачів.

Таблиця 1 - Динаміка зміни верхньої межі РЧС

Рік	1903	1906	1927	1948	1959	1979	1990	2000
Верхня межа РЧР	200	500	60	10,5	40	225	400*	1000*
	кГц	кГц	МГц	ГГц	ГГц	ГГц	ГГц	ГГц
Примітка* - Реальний розподіл РЧС нині обмежується частотою 275 ГГц								

Однак, навіть за таким "вільним", за сучасними мірками, ефіром (до 1927 року у світі працювало не більше 500 радіомовних станцій [5]) виникали серйозні проблеми щодо взаємних радіозавад між працюючими радіостанціями та їхнього усунення. Крім того, двадцять років минулого століття характеризувалися бурхливим розвитком радіоаматорства, що призвело до різкого зростання кількості короткохвильових передавачів. До 1947 року в Міжнародному реєстрі частот у діапазоні до 20 МГц було зареєстровано 45 тисяч радіостанцій цивільного призначення, а вже в 1984 році тільки в смузі частот від 87,5 МГц до 1 08 МГц працювало понад 53 тисячі радіостанцій із частотною модуляцією. В 2005 році тільки в Україні працювало більше ніж 240 тисяч РЕЗ (без урахування мобільних терміналів).

Нині у світі:

- зареєстровано понад 127 тисяч передавачів аналогового й більше 2200 передавачів цифрового телебачення, а також більше 66 тисяч передавачів аналогового звукового мовлення;

- кількість абонентів мереж стільникового зв'язку другого покоління (2G) перевищує 2,5 млрд.;

- кількість абонентів, які працюють у більше ніж 250 мережах зв'язку третього покоління (3G) (CDMA2000 і W-CDMA/UMTS), перевищує 250 млн.

Зрозуміло, що збільшення кількості РЕЗ призводить до перевантаження РЧС і ще більше ускладнює електромагнітну обстановку та ЕМС між РЕЗ і ВП.

Ще в середині 20-х років минулого століття виявилось, що застосування лише регуляторних процедур недостатнє, тому потрібно було прийняти міри щодо контролю за реальним станом використання РЧС.

Історія появи радіочастотного моніторингу, який на початку виникнення називався *технічним радіоконтролем*, бере свій початок з кінця 20-х початку 30-х років минулого століття. Потреби щодо його введення були викликані необхідністю вирішення зазначених проблем і потребою

впорядкування розподілу смуг частот, що, в свою чергу, було зумовлено перевантаженням РЧС і зростанням інтенсивності його використання.

На першому етапі становлення технічного радіоконтролю основним його завданням став контроль частотних характеристик радіовипромінювання РЕЗ (несучої частоти й ширини смуги частот) та інформаційного складника радіосигналів (прослуховування).

Перша половина 40-х років характеризується інтенсивним розробленням техніки й методів пеленгування джерел радіовипромінювань (ДРВ), які отримали свій подальший розвиток у повоєнні роки. Певною мірою це було пов'язано з черговим різким зростанням кількості аматорських радіостанцій.

З появою та упровадженням на початку 70-х років засобів і систем зв'язку, які використовують методи передавання цифрових сигналів, акцент у спрямованості діяльності радіоконтролю змістився від контролю інформативного складника радіосигналів (прослуховування) в бік контролю технічних параметрів і характеристик радіовипромінювання.

Історія системи радіоконтролю за використанням РЕЗ цивільного призначення в колишньому СРСР бере свій початок від часу розгортання в 1930 році двох стаціонарних пунктів технічного радіоконтролю (ПТРК) за використанням РЧС під Москвою та в Можайську. Обсяги завдань ПТРК обмежувалися вимірюваннями частоти та напруженості електромагнітного поля в діапазонах довгих (ДХ) та середніх (СХ) хвиль і прослуховуванням ефіру в діапазоні коротких хвиль (КХ). Фактично за період з 1934 по 1938 роки, з розгортанням ще 7 ПТРК, у СРСР створюється прототип системи радіочастотного моніторингу (СРЧМ).

Щодо вітчизняного радіомоніторингу, то його історія розпочалася з часу розгортання в 1934 році Київського ПТРК. Його функції полягали в проведенні контролю засобів радіомовлення та зв'язку з дотримання ними правил проведення радіозв'язку, а також у вимірюванні рівнів напруженості електромагнітних полів. У 1950 році Київський ПТРК змінив місце розташування і перебазувався на 15 км Брест-Литовського проспекту (нині - проспект Перемоги), а в грудні 1951 року вже розпочав роботу.

Протягом 35 років Київський ПТРК неодноразово змінював назви й статус. 15 жовтня 1996 року в черговий раз було реорганізовано в Український державний центр радіочастот та нагляду за зв'язком, який у 2004 році згідно з положеннями Закону України "Про радіочастотний ресурс України" [6] змінив назву на Державне підприємство "Український державний центр радіочастот" (УДЦР).

Зараз переважна більшість завдань радіомоніторингу вирішується за допомогою автоматизованих методів із застосуванням сучасного обладнання. Але рівень розвитку радіомоніторингу дещо відстає від рівня розвитку телекомунікацій. Донині технічні можливості обладнання радіомоніторингу стосовно діапазону робочих частот обмежувалися в нижній частині РЧС частотою 30 МГц, а в його верхній частині - частотою 3 ГГц. Головним

чином це зумовлено тим, що з усіх РЕЗ у смузі частот до 3 ГГц їх зосереджено більше ніж 90 %.

Разом з тим, в останні роки розробники та виробники засобів телекомунікацій приділяють значну увагу вищим діапазнам радіочастот, які вважаються найперспективнішими для практичного освоєння. На цей час в Україні діапазон радіочастот 3,5 ГГц інтенсивно освоюється адіо технологій WiMAX, діапазони радіочастот 6/4 ГГц, 8/7 ГГц, 14/11 ГГц і 30/20 ГГц насичуються супутниковими системами зв'язку.

Складність вирішення завдань радіомоніторингу в діапазнах частот понад 3 ГГц зумовлена:

- труднощами виявлення, визначення місцезнаходження ДРВ і вимірювання параметрів їхнього радіовипромінювання;
- відмінностями законодавчого регулювання використання РЧР в Україні від ряду європейських країн;
- відсутністю необхідного технічного обладнання й відповідного нормативно-методичного забезпечення радіомоніторингу.

Незважаючи на велике різноманіття радіослужб, адіо технологій, систем і стандартів зв'язку, які нині існують у світі, на практиці для вирішення завдань радіомоніторингу можна використовувати обмежену кількість методів. Це положення адіо техно на можливості об'єднання адіо технологій, систем зв'язку в групи за певними критеріями, що сприятиме застосуванню єдиних методів виявлення радіовипромінювань, вимірювання їхніх параметрів, пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ тощо. Залишається лише визначити критерії такої класифікації, розподілити системи радіозв'язку на групи за цими критеріями, відмітити для кожної із груп властиві їй методи радіомоніторингу та перелік технічних параметрів, які потрібно вимірювати та (чи) визначити під час його проведення.

На практиці, говорячи про радіомоніторинг, часто мають на увазі дещо інші поняття, зокрема, контроль параметрів радіосигналів у високочастотних трактах передавачів. Забезпечення підвищення ефективності регулювання у сфері користування РЧР вимагає необхідності чіткого визначення функцій та сфери повноважень радіомоніторингу й радіоконтролю.

# ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГ'У. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

## Розділ 1

### ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

#### 1.1 Загальні положення

РЧР України – це стратегічний ресурс держави, використання якого – невід’ємна частина технологічних процесів, які забезпечують функціонування систем радіозв’язку, навігації та радіолокації, телевізійного і звукового мовлення, побутових приладів. Водночас він є складником надання різноманітних телекомунікаційних послуг і забезпечення ефективного функціонування економіки та низки технологій, що впливають на національну безпеку держави, забезпечують обороноздатність країни, її інформаційну безпеку та технологічну незалежність. Обмеженість РЧР на певному етапі розвитку технологій зумовлює його постійний дефіцит і пов’язану з цим необхідність ефективного використання.

Спостереження за користуванням РЧС, зокрема, шляхом проведення його моніторингу, є одним із засобів підтримки цілісності процесів використання РЧР.

Проте, до нинішнього часу відсутній єдиний термін, який характеризує цей процес. У науково-технічній літературі найчастіше використовуються близькі за звучанням терміни «радіочастотний контроль», «радіоконтроль», «радіочастотний моніторинг» та «радіомоніторинг».

Нині в Україні загальноновизнаними є декілька термінів – «радіочастотний моніторинг», «радіочастотний контроль», «технічний радіоконтроль», «первинний технічний контроль».

Зміст першого терміну визначений у Законі України «Про радіочастотний ресурс України» [6] як «збирання, оброблення, збереження та аналіз даних про параметри випромінювання радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв, які діють у відповідних смугах радіочастот». Але таке трактування можна вважати недосконалим, бо воно не тільки суттєво обмежує коло можливостей радіочастотного моніторингу, а й частково спотворює зміст і мету його проведення, яка визначена бг. 19 того ж Закону: «Радіочастотний моніторинг здійснюється з метою захисту присвоєнь радіочастот, визначення наявного для використання радіочастотного ресурсу України, ефективності використання розподілених смуг радіочастот та розроблення науково бґрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних рішень щодо підвищення ефективності використання та задоволення потреб користувачів радіочастотного ресурсу України».



## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

Термін "радіочастотний контроль" застосовується в "Порядку здійснення державного нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України в смугах радіочастот загального користування" [7] як інструмент державного нагляду за користуванням РЧР у смугах частот загального користування в частині проведення відповідних заходів, спрямованих на усунення виявлених порушень та недоліків щодо користування РЧР. Тим часом, зміст цього терміну у названому документі не визначений, але, виходячи з переліку завдань, покладених на комісію, щодо перевірки користувачів РЧР у частині дотримання ними нормативних значень для параметрів радіовипромінювання та відхилення параметрів передавачів, допустимих норм радіозавад тощо, очевидно, що він стосується певного РЕЗ (передавача).

Термін "технічний радіоконтроль" застосовується також у затверджених Кабінетом Міністрів України "Граничних тарифах на роботи (послуги) Державного підприємства "Український державний центр радіочастот", пов'язаних із користуванням радіочастотним ресурсом України" [8] у виразі "технічний радіоконтроль параметрів випромінювання та забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ та ВП" і, за змістом, стосується, переважно, контролю параметрів випромінювань окремих передавачів, оскільки розмір платежів встановлюється, виходячи не зі значення ширини смуги частот, яка використовується чи виділена певному передавачу (РЕЗ), а за кожен окремий РЕЗ (передавач, базову станцію, абонентську станцію, земну станцію супутникового"в'язку, ретранслятор), дуплексну пару частот.

Ще один термін, який має відношення до зазначеної термінології, - це "первинний технічний контроль" (ПТК) [8], сутність якого передбачає проведення вимірювань та перевірку параметрів радіопередавачів РЕЗ на відповідність заявленим і виконується перед їхнім введенням в експлуатацію. Тариф за проведення ПТК також передбачає оплату за кожен РЕЗ незалежно від значення ширини займаної смуги частот та інтенсивності використання РЧР. Крім того, у разі проведення ПТК декількох однотипних стаціонарних РЕЗ плата за ПТК першого РЕЗ у 12-14 разів більша, ніж за ПТК наступних.

Виходячи із загальноприйнятого трактування поняття "радіо" як "загального терміну, який застосовується до використання радіохвиль" [4], треба відмітити, що терміни "радіочастотний контроль" та "радіоконтроль" є ідентичними, як і терміни "радіочастотний моніторинг" та "радіомоніторинг", тому надалі будуть переважно використовуватися лише короткі варіанти цих термінів - "радіоконтроль" і "радіомоніторинг".

Обидва терміни нині набули поширеного застосування. При цьому, якщо в Україні їх дещо розрізняють за змістом, то в Росії вважають синонімами, але, як правило, в одній публікації використовують лише якийсь один із них: або термін "радіоконтроль" [9] або термін "радіомоніторинг" [10].

В іноземній науково-технічній літературі, викладеній англійською мовою, застосовують два терміни: *Radiomonitoring* і *Spectrum Monitoring*. Але, якщо перший перекладається українською мовою як "радіомоніторинг" і застосовується, переважно, у спеціальній літературі для характеристики

галузі використання обладнання [11], то другий іноді перекладають як "радіоконтроль" (наприклад, переклад назви видання *Spectrum Monitoring Handbook* [3] як "Справочник по радіоконтролю" [1]).

Для правильного формулювання основних завдань радіомоніторингу доцільно визначити місце радіомоніторингу та радіоконтролю у сфері користування РЧР.

## **1.2 Місце радіомоніторингу і радіоконтролю у сфері користування РЧР**

Вплив державних органів на сферу використання РЧР характеризується поняттями „*регулювання* в сфері користування РЧР" і „*управління* РЧР".

Перехід від планової економіки до ринкових відносин залишає державні органи без основних важелів адміністративного впливу та зміщує акценти у взаємовідносинах між органами державного управління й регулювання у сфері користування РЧР і самою сферою телекомунікацій у напрямку застосування переважно економічних та нормативно-правових інструментів.

В цих умовах основними засадами управління РЧР України є:

- 1) визначення необхідного й достатнього для потреб країни (користувачів і державних органів) РЧР;
- 2) розподіл РЧР, який забезпечує задоволення потреб усіх категорій користувачів і державних органів;
- 3) забезпечення й захист інтересів держави;
- 4) реєстрація та міжнародний захист РЧР;
- 5) забезпечення максимально ефективного використання РЧР.

Вирішення цих питань забезпечується шляхом застосування законодавчих і нормативно-правових механізмів.

Регулювання у сфері користування РЧР полягає в установленні для всіх користувачів однакових, прозорих, зрозумілих, "рамкових" правил поведінки у цій сфері й перевірки їхнього дотримання.

В умовах ринкових відносин основні засади регулювання у сфері користування РЧР України такі:

- 1) стимулювання розвитку ринку телекомунікаційних послуг;
- 2) забезпечення ефективного користування РЧР України в інтересах усіх категорій користувачів;
- 3) забезпечення та захист інтересів держави;
- 4) забезпечення умов рівноправного доступу до РЧР усіх категорій користувачів;
- 5) нормативне забезпечення діяльності всіх категорій користувачів РЧР;
- 6) забезпечення ЕМС і беззавадової роботи РЕЗ.

Вирішення перших п'яти питань забезпечується шляхом застосування економічних і нормативно-правових механізмів.

Вирішення останнього питання (окрім застосування процедур ліцензування й присвоєння радіочастот) передбачає також:

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

- спостереження за реальним станом використання РЧР;
- нагляд за користуванням РЧР.

Відповідно до завдань *служби* радіоконтролю, окреслених Регламентом радіозв'язку [4], у Довіднику з радіоконтролю [1, 3] спостереження за станом використання РЧР і нагляд за користуванням РЧР розподілені відповідно між службою контролю використання спектра та службою радіоінспектування.

Для позначення загальної організації процесу контролю за використанням спектра чи інспектування радіообладнання без їхнього віднесення до конкретної структури органів, які забезпечують виконання цих функцій, в [1] застосовується термін "служба".

Проводячи паралелі щодо розподілу повноважень між службою контролю використання спектра та службою радіоінспектування (згідно з [1]) і органами радіочастотного моніторингу та Державною інспекцією зв'язку України (ДІЗ) відповідно до Закону України "Про радіочастотний ресурс України" [6] можна відмітити, що:

- функції органів радіомоніторингу в Україні співпадають із функціями служби контролю використання спектра (за [1]);
- функції органів державного нагляду за користуванням РЧР України (наприклад, ДІЗ - у смугах радіочастот загального користування) співпадають із функціями служби радіоінспектування.

### 1.3 Завдання служби радіомоніторингу

Відповідно до положень Регламенту радіозв'язку на службу контролю використання спектра покладаються такі завдання [4]:

- 1) контроль радіовипромінювань на відповідність умовам присвоєння радіочастот;
- 2) нагляд за використанням смуг частот і вимірювання зайнятості частотних каналів;
- 3) вивчення випадків появи та впливу радіозавад;
- 4) розпізнавання та усунення несанкціонованих радіовипромінювань.

Основною метою проведення регулярного радіоконтролю випромінювань на національному рівні є запобігання появі радіозавад. Механізм реалізації цього завдання базується на регулярному контролі технічних параметрів радіовипромінювань та, для певних радіослужб, змісту радіопередач (наприклад, контроль аматорського радіозв'язку може проводитися також із метою перевірки використання позивних сигналів та відсутності передавання сигналів мовлення).

Крім того, на службу контролю використання спектра часто покладається виконання завдань, які безпосередньо не впливають із положень регламенту радіозв'язку, зокрема:

- дослідження ЕМС;

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

- надання допомоги в окремих випадках (наприклад, під час проведення великих спортивних змагань);
- вимірювання зон радіопокриття;
- виконання технічних та наукових досліджень.

Насправді, таке окреслення кола завдань служби контролю використання спектра досить розпливчате і не конкретизує сферу її діяльності, а в деяких випадках окремі завдання взагалі не враховують національні особливості організації служби радіочастотного моніторингу або не відносяться до сфери її повноважень.

Конкретніше завдання служби радіомоніторингу визначені в Рекомендаціях ІТУ-R SM.1050 [12] та SM.1392 [13], за положеннями яких увесь комплекс завдань ділиться на три групи:

1. Перша група завдань спрямована на забезпечення перевірки виконання умов ліцензування та частотних присвоєнь.
2. Друга група завдань пов'язана з оцінюванням реального стану використання РЧР і підготовкою даних стосовно зайнятості спектра.
3. Третя група завдань пов'язана з підготовкою спеціальних звітів в інтересах МСЕ, участю в міжнародних моніторингових заходах тощо.

Зазначені групи завдань апріорі визначають рівні їх вирішення, а також висувають певні вимоги до структури СРЧМ і функцій її складників.

Так, перша група визначає вимоги стосовно:

- топології СРЧМ, виходячи з умови забезпечення максимального охоплення РЕЗ, що експлуатуються;
- переліку функціональних можливостей як СРЧМ у цілому, так і окремих її складників у частині виявлення, вимірювання та перевірки параметрів радіовипромінювань, які визначаються умовами ліцензування та частота-присвоєнь;
- забезпечення взаємодії із системою планування використання РЧР (з обліковою базою даних частотних присвоєнь і ліцензіатів).

Друга група завдань установлює необхідність проведення довгострокових спостережень, спільного статистичного оброблення й аналізу їхніх результатів, тобто визначає вимоги щодо автоматизації процесів радіомоніторингу та потребує наявності центрів управління (так званих "центрів радіомоніторингу") для узагальнення цих результатів.

Третя група завдань визначає рівень технічної оснащеності складників СРЧМ, виходячи з умови забезпечення відповідності їхнього обладнання вимогам, що висуваються до міжнародних станцій радіоконтролю.

Згідно зі ст. 19 Закону України "Про радіочастотний ресурс України" [6] радіомоніторинг в Україні здійснюється з метою:

- захисту присвоєнь радіочастот;
- визначення наявного для використання РЧР України;
- визначення ефективності використання розподілених смуг частот;

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

- розроблення науково обгрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних рішень щодо підвищення ефективності використання та задоволення потреб користувачів РЧР України.

Таким чином, радіомоніторинг, як спостереження за реальним станом використання РЧР, передбачає вирішення таких завдань:

- оцінювання реального стану електромагнітної обстановки;
- отримання даних для оцінки ефективності використання РЧР;
- участь у міжнародних програмах із радіомоніторингу;
- виявлення порушень у сфері використання РЧР і користування РЧР;
- вимірювання параметрів радіовипромінювання РЕЗ і ВП.

Реалізація перших трьох завдань забезпечує вирішення одного з основних завдань служби радіомоніторингу - моніторингу радіочастотного спектра. Вимірювання параметрів радіовипромінювання РЕЗ згідно з переліком робіт, які виконуються УДЦР [8], відносяться до категорії робіт стосовно технічного радіоконтролю параметрів випромінювання РЕЗ і ВП. Завдання щодо виявлення порушень у сфері використання РЧР і користування РЧР та забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ і ВП вирішуються як у процесі проведення моніторингу спектра, так і під час проведення технічного радіоконтролю. Таким чином, основними складниками радіочастотного моніторингу можна визначити:

- безпосередній моніторинг радіочастотного спектра;
- технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювань РЕЗ і ВП.

В цілому завдання стосовно отримання необхідної користувачам інформації вирішується шляхом:

- визначення реальної зайнятості спектра (частот, частотних каналів, смуг і діапазонів частот);
- виявлення джерел радіовипромінювань (ДРВ);
- вимірювання параметрів і визначення характеристик радіовипромінювань;
- ідентифікації радіовипромінювань із зареєстрованими ДРВ;
- визначення відповідності параметрів і характеристик радіовипромінювань параметрам і характеристикам ДРВ, які зареєстровані в базі даних (БД) обліку частотних присвоєнь (обліку РЕЗ);
- виявлення незареєстрованих ДРВ;
- визначення місцезнаходження ДРВ;
- проведення вимірювань у рамках виконання робіт за програмами МСЕ, та Європейської конференції адміністрацій пошти та зв'язку (СЕРТ);
- обліку, збереження та оброблення результатів радіомоніторингу. Таким чином, радіомоніторинг є основним інструментом отримання об'єктивної інформації щодо реального стану електромагнітної обстановки та використання РЧР.

За результатами радіомоніторингу робляться висновки стосовно відповідності реальної електромагнітної обстановки прогнозованих, а також щодо наявності порушень у сфері використання РЧР. ці результати є підставою

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

для здійснення нагляду за виконанням установлених правил у цій сфері та прийняття відповідних заходів щодо усунення причин виявлених порушень.

З урахуванням цього в подальшому термін "радіомоніторинг" буде вживатися за таким визначенням:

**Радіомоніторинг** - комплекс організаційних і технічних заходів щодо збирання, оброблення, аналізу та збереження даних про параметри та характеристики сигналів радіовипромінювання РЕЗ, ВП та інших ДРВ із метою отримання необхідної інформації для прийняття управлінських рішень у сфері використання РЧР.

### 1.3 Завдання служби інспектування радіоконтролю

Згідно з викладеним у Довіднику з радіоконтролю [1] на службу радіоінспектування, як правило, покладається вирішення таких завдань:

- інспектування радіообладнання безпосередньо на місцях його розташування;
- вимірювання рівнів випромінювання радіообладнання з метою виключення небезпеки впливу на здоров'я людей;
- дослідження ЕМС РЕЗ та ВП;
- спостереження за надходженням на ринок телекомунікацій радіообладнання та іншого електронного обладнання.

Нагляд за користуванням РЧР проводиться з метою:

- забезпечення дотримання користувачами РЧР установлених правил у сфері користування РЧР;
- забезпечення ЕМС РЕЗ;
- забезпечення безпеки держави, інтересів і прав її громадян;
- запобігання правопорушенням у сфері користування РЧР;
- перевірки правових підстав (наявності дозвільних документів) діяльності користувачів РЧР і функціонування РЕЗ і ВП із заданими параметрами та характеристиками.

Вирішення цих завдань забезпечується шляхом:

- проведення контролю параметрів радіосигналів передавачів РЕЗ безпосередньо на місцях їхньої експлуатації;
- виявлення порушень у сфері користування РЧР;
- прийняття заходів щодо усунення виявлених порушень.

Характерною особливістю нагляду за користуванням РЧР є те, що він проводиться стосовно **конкретного ДРВ** (РЕЗ або ВП).

### 1.4 Методи проведення радіомоніторингу

Нині, на жаль, відсутній загальноприйнятий термін для позначення методів проведення радіомоніторингу.

Взагалі потрібно відмітити, що за способом та місцем виконання радіомоніторингу обидва його складники (безпосередній моніторинг спектра та технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювання) відносяться до

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

категорії заходів, що реалізуються шляхом застосування дистанційних методів, які базуються на проведенні аналізу *радіовипромінювань*, що поширюються в просторі та приймаються антенними системами (АС) технічних засобів радіомоніторингу (тобто "за ефіром" або "за полем").

Моніторинг радіочастотного спектра організується: - на підставі планових або позапланових завдань;

- за заявами щодо наявності радіозавад для РЕЗ користувачів РЧР;

- за запитами щодо практичної перевірки розрахункових умов ЕМС за результатами частотного планування;

- за запитами органів регулювання у сфері користування РЧР.

Моніторинг радіочастотного спектра реалізується шляхом використання таких методів:

1) пошук і виявлення радіовипромінювання в заданому діапазоні (смузі) частот (на заданій частоті);

2) спостереження за радіовипромінюваннями в певному діапазоні (смузі) частот (на заданій частоті);

3) селекція радіовипромінювань;

4) інструментальне оцінювання (вимірювання) параметрів радіовипромінювання;

5) пеленгування ДРВ;

6) визначення місцезнаходження ДРВ;

7) ідентифікація радіовипромінювання та ДРВ.

Проведення моніторингу радіочастотного спектра організується, переважно, із застосуванням стаціонарних і мобільних засобів. Портативні засоби можуть застосовуватися для інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання РЕЗ (ВП) під час проведення моніторингу спектра лише у виняткових випадках у тих місцях, де проведення моніторингу з використанням інших технічних засобів неможливо, а також для уточнення результатів, отриманих із використанням мобільних комплексів радіомоніторингу.

**1. Пошук і виявлення радіовипромінювання** здійснюється шляхом проведення короткочасного вибіркового спостереження у визначених смугах радіочастот або на визначених частотах і виявлення радіовипромінювань, наявних у цих смугах частот (на цих частотах). Під виявленням радіовипромінювання мається на увазі прийняття рішення стосовно його наявності (чи відсутності) в аналізованій вибірці **1**).

Пошук і виявлення радіовипромінювання системою радіомоніторингу здійснюється, як правило, шляхом застосування стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу, що входять до неї. Портативні засоби радіоконтролю використовуються лише у виняткових випадках.

---

**Примітка 1.** При цьому треба мати на увазі, що в реальних умовах виявляються *не радіовипромінювання* і вимірюються *не параметри радіовипромінювання*, а виявляються *радіосигнали*, викликані відповідними радіовипромінюваннями, що прийняті антенами технічних засобів радіомоніторингу, і вимірюються параметри радіосигналів.

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

В разі використання автоматизованих стаціонарних комплексів (станцій) радіомоніторингу таке рішення приймається автоматично за певними критеріями, які можуть бути визначені заздалегідь або задані оператором для конкретного випадку контролю. Та в деяких випадках (зокрема, в разі проведення пошуку та виявлення випромінювань малопотужних або широкосмугових передавачів) оператор взагалі може не отримати ніякої інформації стосовно наявності радіовипромінювання та значень параметрів радіосигналів. Останнє зумовлено необхідністю мати для аналізу досить великі значення рівнів сигналів для забезпечення отримання достовірних даних за результатами вимірювань деяких параметрів. Наприклад, загальноприйнятий рівень, на якому повинна вимірюватися ширина контрольної смуги частот, становить мінус 30 дБ. А згідно з вимогами Рекомендації ІТУ-R SM.443 [14] вимірювання ширини займаної смуги частот може виконуватися на певному рівні **1**), значення якого в залежності від класу радіовипромінювання може знаходитися в межах від мінус 25 дБ до мінус 35 дБ, хоча рівень сигналу, що аналізується, може бути значно меншим за вказані межі.

Пошук та виявлення радіовипромінювань реалізується шляхом виконання таких процедур:

- 1) визначення смуги частот аналізу (шляхом установлення значень частоти її верхньої та нижньої межі), виду модуляції (для забезпечення коректного інструментального оцінювання ширини смуги частот), швидкості сканування (в разі пошуку в смузі частот) і кількості циклів сканування;

- 2) сканування заданої смуги частот;

- 3) виявлення радіосигналів.

Як зазначено вище, під виявленням радіосигналів мається на увазі процес прийняття рішення про наявність чи відсутність корисного сигналу в аналізованій вибірці коливань, що приймаються [15]. Теоретичні основи вирішення завдання щодо виявлення радіосигналу ґрунтуються на застосуванні статистичної теорії синтезу оптимальних алгоритмів.

В разі наявності апріорної інформації для прийняття рішення стосовно наявності сигналу може використовуватися критерій максимуму апостеріорної ймовірності. На практиці часто використовують квазіоптимальні алгоритми, наприклад, алгоритми, що (за аналогією з критерієм Неймана-Пірсона) ґрунтуються на мінімізації ймовірності пропущення сигналу за умови фіксованого значення ймовірності хибного виявлення. Потрібно також ураховувати, що ймовірність виявлення сигналу безпосередньо пов'язана з тривалістю аналізу та швидкістю сканування.

Враховуючи те, що нині робота практично всіх комплексів радіомоніторингу базується на використанні цифрових методів оброблення сигналів, дискретні відліки як сигналу, так і його спектра можна вважати незалежними, що значно спрощує оптимізацію алгоритмів виявлення.

**Примітка 1.** Це зумовлено тим, що в переважній більшості комплексів радіомоніторингу вітчизняного виробництва можливість вимірювання ширини займаної смуги частот методом за критерієм відношення потужностей відсутня.



## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

Рішення  $H$  щодо наявності окремого  $n$ -го складника усередненого спектра потужності сигналу (гіпотеза  $H_0$ ) або його відсутності (гіпотеза  $H_1$ ) приймається за критерієм перевищення значення рівня  $x_n$  цього складника певного порогового значення  $x_{пор}$ :

$$H = \begin{cases} H_0, x_n \leq x_{пор} \\ H_1, x_n \geq x_{пор} \end{cases}. \quad (1.1)$$

Пороговий рівень однозначно визначає ймовірність помилок, тому вибір значення  $x_{пор}$  суттєво

На практиці, за умов апіорної невизначеності щодо положення сигналу на осі частот (у смузі  $n$ )

Пороговий рівень однозначно визначає ймовірність помилок, тому вибір значення  $x_{пор}$  суттєво впливає на показники виявлення сигналів у цілому. На практиці цей рівень визначається відносно рівня шумів або адитивної суміші шумів та радіозавад.

Прийняття рішення за алгоритмом (1.1) призводить до ділення вибірки сигналів на підмножини складників: шумових і сигнальних. Але, реально підмножина шумових складників, як правило, заздалегідь не відома, тому її рівень може бути визначений лише приблизно.

На практиці, за умов апіорної невизначеності щодо положення сигналу на осі частот (у смузі частот аналізу), визначення рівня шумів (суміші шумів і радіозавад) здійснюється на дільниці частот, вільній від сигналу. Однак можливість проведення такого вимірювання складніша, ніж вважається на перший погляд. Оскільки знайти такі «вільні» ділянки в деяких смугах частот практично не можливо (наприклад, у діапазоні частот роботи систем GSM-900, DC-1800, WLAN, CDMA-800)/

Збільшення тривалості пошуку (спостереження) та застосування режиму накопичення відліків спектра сигналу (MaxHold) забезпечує більшу ймовірність виявлення сигналів.

Проте потрібно враховувати, що складність вирішення завдання стосовно виявлення радіовипромінювання значно відрізняється для сигналів різних класів радіовипромінювання. Так, наприклад, виявлення широкосмугових сигналів за умови апіорної невизначеності стосовно несучої частоти, ширини спектра сигналу, виду та параметрів модуляції, закону розподілення відліків сигналу тощо являє собою досить складну проблему, яка інколи не може бути вирішена навіть автоматизованими способами. Оброблення вузькосмугових сигналів, які характеризуються великим відношенням сигнал/шум, може успішно здійснюватися із застосуванням досить простої моделі процесів, що спостерігаються, і вимагає мінімального обсягу апіорних даних.

Значно складніше виявити широкосмугові сигнали, особливо РЕЗ систем (радіотехнологій), принцип дії яких ґрунтується на застосуванні методу стрибкоподібної зміни частоти (Frequency Hopping, FH). Для таких сигналів на великому інтервалі часу рівень середньої потужності, який приходить на кожну частотну позицію, порівняний із рівнем адитивних шумів, що значно ускладнює їхнє виявлення. Але, оскільки відомо, що такий сигнал багато разів, наприклад, за одну секунду, змінює свою частоту, то рівні миттєвої потужності його випромінювання на певних частотах у певні

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

моменти часу бувають досить значними, що сприяє можливості виявлення такого сигналу на деяких частотних позиціях у разі, якщо часовий інтервал аналізу радіообстановки співпадає з інтервалом використання цієї часової позиції. При цьому залишається відкритим питання про те, належать ці позиції одному РЕЗ, чи декільком, які, цілком можливо, працюють незалежно один від одного. Хоча факт виявлення такого сигналу можна вважати встановленим.

В разі використання сучасних високоефективних автоматизованих комплексів радіомоніторингу в режимі панорамного спектрального аналізу в смузі частот аналізу можуть спостерігатися окремі сплески спектра сигналу. Амплітуда такого сплеску, зазвичай, мала, а ширина спектра флюктує за випадковим законом. Результати досліджень свідчать, що навіть у разі застосування таких комплексів, якщо тривалість повідомлення становить декілька секунд, кількість виявлених частотних позицій сигналу зі стрибкоподібною зміною частоти незначна. Для виявлення таких сигналів вважається за достатнє проведення від 3 до 6 вибірок (циклів сканування).

Взагалі, ефективність вирішення завдання щодо виявлення сигналів зі стрибкоподібною зміною частоти визначається, в першу чергу, інтенсивністю цього сигналу та продуктивністю комплексу радіомоніторингу, а також критерієм відповідності сигналу його частотній позиції. Залежності ймовірності виявлення сигналу зі стрибкоподібною зміною частоти від швидкості сканування для різних відношень сигнал/шум  $h^2$  наведені на рис. 1.1 (а - для випадків виявлення за одним відліком сигналу; б - для випадків виявлення за усередненим спектром), де крива 1 відповідає  $h^2 = 3$  і значенню інтервалу спостереження  $T_c = 20$  с, крива 2 -  $h^2 = 6$  і  $T_c = 10$  с, крива 3 -  $h^2 = 10$  і  $T_c = 5$  с) [10].

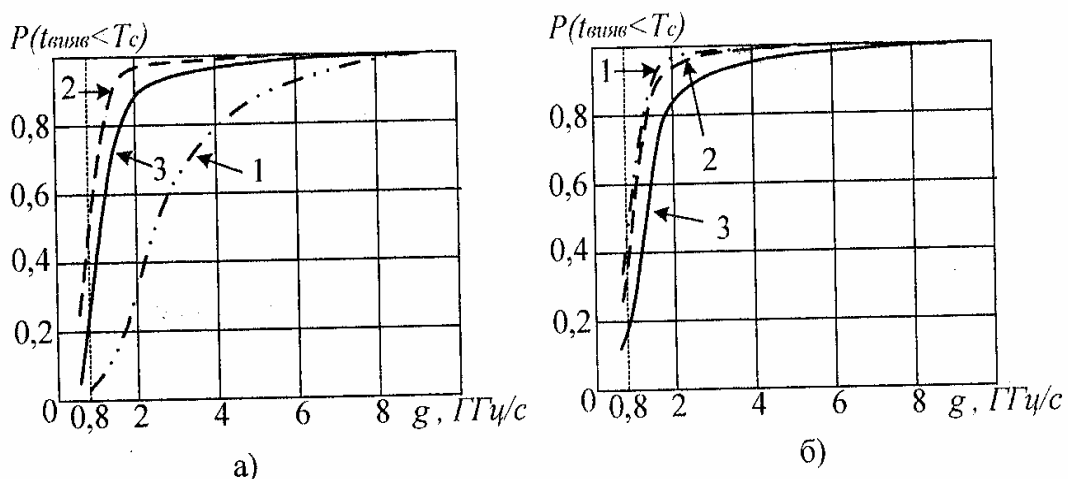


Рис. 1.1. Характеристики виявлення сигналу зі стрибкоподібною зміною частоти

Аналіз наведених графіків свідчить, що в разі проведення пошуку в широкій смузі частот виявлення сигналів зі стрибкоподібною зміною частоти можливе лише в разі використання автоматизованих комплексів радіомоніто-

рингу з високою чи надвисокою продуктивністю. В разі застосування критерію виявлення за двократною появою спектрального складника сигналу на певній частоті виявлення таких сигналів можливе лише з використанням комплексів із надвисокою продуктивністю.

Сигнали з високою потужністю найефективніше виявляються за окремими спектральними складниками, які обробляються незалежно, сигнали з малою потужністю - за усередненим спектром 3 - 6 незалежних вибірок.

З організаційної точки зору, в автоматизованій системі радіомоніторингу (АСРМ) пошук радіовипромінювання може бути організований синхронно, із заданою періодичністю, в межах усієї системи (чи її частини).

В АСРМ пошук радіовипромінювання реалізується шляхом виконання таких процедур:

1) постановка завдання на проведення сканування смуг радіочастот (окремих радіочастот) для певних стаціонарних комплексів радіомоніторингу із зазначенням діапазону частот сканування, дискретності сканування за частотою, періодичності та швидкості сканування, виду модуляції та задання режиму накопичення даних;

2) сканування визначених смуг радіочастот;

3) отримання результатів та їхній аналіз;

4) виявлення необхідного радіовипромінювання.

Методи пошуку радіовипромінювання з певного напрямку реалізуються лише за умови застосування направлених АС, які, на жаль, дуже рідко використовуються як у мобільних, так і в стаціонарних комплексах радіомоніторингу. Тому, в даному випадку мова йде, переважно, про вирішення зазначеного завдання шляхом проведення технічного радіоконтролю та про портативні (чи носимі) засоби, що забезпечують можливість радіоконтролю в заданому діапазоні (смузі) частот (на заданій частоті).

**2. Спостереження за радіовипромінюваннями** являє собою процес тривалого та цілеспрямованого сприйняття інформації стосовно наявності радіовипромінювань у певному діапазоні (смузі) частот (на заданій частоті) та інструментального оцінювання значень їхніх параметрів. Воно реалізується за допомогою автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу та, як виняток, мобільних комплексів із метою визначення динамічних характеристик існування радіовипромінювання, зокрема, для оцінювання **зайнятості** діапазонів і смуг радіочастот, радіочастотних каналів (окремих частот) та **інтенсивності** роботи РЕЗ (ВП).

Спостереження реалізується шляхом виконання таких процедур:

1) задання значень частоти, які відповідають верхній та нижній межі смуги частот спостереження;

2) задання часових режимів аналізу (періодичності та інтервалу) і критеріїв виявлення радіовипромінювання (за певним рівнем сигналу чи напруженості електромагнітного поля випромінювання);

3) виконання завдання щодо виявлення радіовипромінювань;

4) інструментальне оцінювання значень заданих параметрів радіовипромінювання та узагальнення результатів.

В разі необхідності проведення просторової селекції радіовипромінювань для спостереження за конкретним радіовипромінюванням, як виняток може застосовуватися портативне обладнання з використанням направлених АС. Але в цьому випадку, через відсутність спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ), яке здатне забезпечувати виконання завдань щодо спостереження за радіовипромінюваннями автоматизованим способом, реалізація цього завдання можлива лише в ручному режимі з наступним окремим обробленням отриманої інформації.

**3. Селекція радіовипромінювань** - це розділення радіовипромінювань на певні групи (категорії) за визначеними критеріями в процесі проведення моніторингу радіочастотного спектра й технічного радіоконтролю. Мета проведення селекції - виявлення радіовипромінювань, які відносяться до визначених груп (категорій). Критерії, за якими може проводитися селекція радіовипромінювань, залежать від змісту поставлених завдань. Зокрема, такими критеріями можуть бути:

- ширина смуги (діапазон) частот радіовипромінювання;
- рівень сигналу (напруженість електромагнітного поля радіовипромінювання);
- вид модуляції сигналу;
- напрямок, з якого надходить радіовипромінювання;
- часові характеристики роботи ДРВ;
- наявність (або відсутність) відомостей щодо ДРВ, якому належить певне радіовипромінювання, у БД обліку РЕЗ (обліку присвоєнь частот).

Здійснення селекції радіовипромінювань полягає в реалізації таких процедур:

- 1) виявлення випромінювань у заданій смузі частот (на певній частоті);
- 2) попереднє оцінювання параметрів радіовипромінювання;
- 3) проведення аналізу щодо відповідності параметрів і характеристик радіовипромінювання (параметрів і характеристик сигналів) заданим критеріям;
- 4) прийняття рішення стосовно належності конкретного радіовипромінювання до певної категорії (групи).

Селекція радіовипромінювань є допоміжною попередньою процедурою для проведення ідентифікації, пеленгування та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювань (радіосигналів). Просторова селекція, поряд з ідентифікацією радіовипромінювань, проводиться з метою встановлення факту, який саме РЕЗ є джерелом радіовипромінювання, що аналізується.

Наявність та можливість використання на автоматизованих робочих місцях (АРМ) АСРМ класифікаторів РЕЗ і радіо випромінювань, а також можливість застосування результатів виконання попередніх завдань радіомоніторингу, які зберігаються в БД радіообстановки, значно спрощують проведення селекції.

4. Під **вимірюванням (інструментальним оцінюванням) параметрів радіовипромінювання** мається на увазі відображення фізичних величин їхніми значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів [15].

В разі застосування функціонально завершених автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу, які оснащені направленими антенними системами, вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання здійснюється автоматично в процесі виконання поставлених завдань радіомоніторингу. Сам процес вимірювання (інструментального оцінювання) в цьому випадку полягає в реалізації таких процедур:

1) проведення панорамного спектрального аналізу в смузі частот, в якій планується вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів певного радіовипромінювання;

2) виявлення необхідного радіовипромінювання та орієнтовне визначення напрямку на його джерело із застосуванням ненаправлених або слабо направлених антен;

3) уточнення напрямку на ДРВ шляхом застосуванням гостронаправлених антен (за наявності такої можливості);

4) попереднє оцінювання ширини смуги частот, яку займає радіовипромінювання, та рівня сигналу;

5) аналіз заданої смуги частот і суміжних із нею смуг стосовно відсутності (наявності) сторонніх радіовипромінювань та, за їхньої наявності, орієнтовне оцінювання ступеня можливого впливу цих випромінювань на достовірність вимірів;

б) постановка завдання щодо вимірювання (інструментального оцінювання) параметрів радіосигналу (рівня, частоти, стабільності частоти, зсуву частоти, девіації частоти, ширини смуги частот сигналу, чіпової швидкості тощо), обчислення параметрів радіовипромінювання (напруженості електромагнітного поля, щільності потоку потужності, рівня еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності тощо) і визначення характеристик радіовипромінювання (виду модуляції, класу радіовипромінювання тощо);

7) проведення вимірювання та аналіз результатів.

Особливість **інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання** із застосуванням автоматизованих стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу, якими оснащені управління радіочастотного моніторингу (УРЧМ) та підрозділи радіочастотного контролю в регіональних філіях УДЦР, полягає в тому, що в переважній більшості комплексів відсутні направлені вимірювальні антени, тому всі вимірювання проводяться із застосуванням ненаправлених антен.

У зв'язку з уніфікацією інтерфейсу користувача переважної більшості автоматизованих стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу процедура проведення інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання, зазвичай, також стандартизована й реалізується шляхом виконання таких процедур:

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

- 1) проведення панорамного спектрального аналізу у визначеній смузі частот;
  - 2) візуальне виявлення радіо випромінювань, оцінювання параметрів яких планується;
  - 3) аналіз панорами спектра в заданій смузі частот та в суміжних смугах із метою виявлення сторонніх радіовипромінювань, які можуть завадити проведенню інструментального оцінювання, орієнтовне оцінювання ступеня їхнього можливого впливу на достовірність вимірів;
  - 4) попереднє оцінювання рівня сигналу та ширини смуги частот, яку займає певне випромінювання;
  - 5) постановка завдання щодо проведення інструментального оцінювання параметрів радіосигналу;
- б) отримання та аналіз результатів інструментального оцінювання.

Для отримання якомога більшої достовірності вимірів вимірювання треба повторити декілька разів і застосувати режим накопичення результатів (режим MaxHold).

У випадку визначення ширини контрольної чи займаної смуги частот шляхом її вимірювання на певному рівні необхідно впевнитися в тому, що рівень сигналу, який аналізується, що найменше на 5 дБ більший заданого рівня, а ширина смуги частот аналізу більша за ширину смуги частот контрольованого радіовипромінювання.

За цим методом найчастіше проводяться вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів випромінювань потужних передавачів радіомовної та радіолокаційної служб, РЕЗ у діапазоні УКХ, транкінгового та пейджингового радіозв'язку. Окрім використання результатів оцінювання за цільовим призначенням (як наслідку виконання завдання) вони можуть також бути використані для ідентифікації радіовипромінювань та ДРВ.

Цей метод найпоширеніший для проведення вимірювання (інструментального оцінювання) параметрів радіовипромінювання РЕЗ фіксованого зв'язку (передавачів радіорелейних станцій, земних станцій супутникового зв'язку, базових станцій радіотехнологій WiMAX, Wi-Fi, передавачів радіомовної служби, які знаходяться за межами зон радіодосягнення стаціонарних радіоконтрольних постів (РКП)), а також для виявлення радіозавод у разі проведення моніторингу спектра із застосуванням мобільних засобів.

**5. Пеленгування ДРВ** має своєю метою визначення напрямку (пеленгу) на ДРВ із метою встановлення його місцезнаходження. Принципи й методи пеленгування та його особливості детально розглянуті в розділі 5.

У разі використання автоматизованих стаціонарних засобів радіомоніторингу пеленг на ДРВ визначається шляхом реалізації таких процедур:

- 1) проведення панорамного спектрального аналізу в смузі частот, у якій планується пеленгування;
- 2) виявлення радіовипромінювання, джерело якого потрібно запеленгувати;

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

3) здійснення аналізу панорами спектра в заданій смузі частот та в суміжних із нею смугах із метою виявлення сторонніх радіовипромінювань, які можуть негативно вплинути на результати пеленгування;

4) постановка завдання щодо проведення пеленгування для визначених РКП даної регіональної підсистеми радіомоніторингу;

5) отримання та аналіз результатів пеленгування.

**6. Визначення місцезнаходження ДРВ** - це визначення його географічних координат за допомогою технічних засобів радіомоніторингу [15]. Процедура визначення місцезнаходження ДРВ під час проведення радіомоніторингу ґрунтується на використанні результатів визначення напрямків на нього. Зміст цієї процедури має деякі відмінності в залежності від типу застосованого обладнання. Наприклад, місцезнаходження ДРВ визначається:

- в разі застосування стаціонарних засобів радіомоніторингу - як точка перетину щонайменше двох пеленгів на ДРВ, виміряних із різних територіально рознесених пунктів;

- в разі застосування мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу - шляхом спільного оброблення й розрахунку географічних координат ДРВ за результатами вимірювання пеленгів на ДРВ із кількох територіально рознесених пунктів за маршрутами руху комплексів (за методом використання так званої "широкоапертурної антени" [1], який іноді також називають методом "синтезованої апертури").

**Визначення місцезнаходження ДРВ АС РМ** реалізується шляхом використання лише автоматизованих стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу та ґрунтується на використанні результатів пеленгування цього ДРВ.

В разі застосування автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу місцезнаходження ДРВ визначається за класичним методом як точка перетину щонайменше двох пеленгів на ДРВ, виміряних із різних територіально рознесених позицій, шляхом реалізації таких процедур:

1) проведення панорамного спектрального аналізу в смузі частот, у якій планується проведення пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ, і в суміжних із нею смугах із метою виявлення сторонніх радіовипромінювань, які можуть негативно вплинути на точність пеленгів;

2) постановка завдання (в разі відсутності сторонніх випромінювань) щодо проведення **синхронного пеленгування** на певній частоті радіовипромінювання для декількох (щонайменше двох) РКП, які входять до складу автоматизованої регіональної підсистеми радіомоніторингу;

3) отримання результатів стосовно орієнтовного місця розташування ДРВ;

4) визначення географічних координат місцезнаходження ДРВ із застосуванням електронної карти місцевості;

5) уточнення географічних координат ДРВ шляхом усереднення отриманих результатів.

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

В разі використання мобільних комплексів радіомоніторингу місцезнаходження ДРВ визначається методом "широкоапертурної антени" [1].

Загальні принципи та особливості визначення місцезнаходження ДРВ детально розглянуті в розділі 5.

7. Під **ідентифікацією радіовипромінювання** мається на увазі його класифікація (віднесення до певного класу чи групи) за рахунок визначення властивих ознак цього випромінювання та порівняння його характеристик із відомими. Ідентифікація радіовипромінювання потрібна, по-перше, для проведення ідентифікації ДРВ, по-друге, для визначення та наступного задання режимів вимірювання параметрів радіовипромінювання (тривалості та періодичності аналізу тощо) і визначення його характеристик (наприклад, виду модуляції). Процедура ідентифікації може також застосовуватися стосовно нових або невідомих радіовипромінювань.

На практиці для ідентифікації радіовипромінювань застосовується двоступенева процедура їхнього розпізнавання:

- раннє розпізнавання відомих або стандартизованих радіосигналів;
- розпізнавання радіосигналів за їхніми характеристиками та параметрами.

У першому випадку розпізнавання ґрунтується на відмінних ознаках, які містяться безпосередньо в радіосигналі. Це, зокрема:

- преамбула (службова інформація);
- захисний часовий інтервал;
- синхрослово, синхропослідовність;
- коди тощо.

Раннє розпізнавання відноситься до методів активного розпізнавання. Воно досить неефективне, оскільки має надто обмежене застосування та практично не використовується для розпізнавання цифрових радіосигналів.

У другому випадку для розпізнавання використовуються такі ознаки (характеристики та параметри) радіосигналів:

- тип сигналу: аналоговий або цифровий;
- ширина смуги частот, метод ущільнення;
- спектральні та часові характеристики сигналу (форма спектра, форма сигналу в часовій області (безперервний або пакетний), тривалість часового інтервалу, швидкість переходу між часовими інтервалами тощо);
- вид і характеристики модуляції.

Аналіз структури параметрів радіосигналів (параметрів радіовипромінювання) з наступним статистичним обробленням інформації щодо параметрів випромінювання РЕЗ відноситься до категорії пасивних методів розпізнавання (пасивних тому, що структура сигналу не містить у собі жодної розпізнавальної ознаки). При цьому використовуються інформаційні, енергетичні, часові та спектральні параметри радіосигналів, властиві для випромінювання конкретного передавача.

Методи ідентифікації аналогових і цифрових радіосигналів суттєво відрізняються один від одного.



## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

Ідентифікація аналогових радіосигналів здійснюється шляхом застосування таких операцій:

*Крок 1:* безпосереднє прослуховування демодульованих АМ, ЧМ або ФМ сигналів, а також сигналів TDMA і FDMA за умови успішної їхньої демодуляції та фільтрації.

*Крок 2:* відтворення демодульованого аналогового ТВ сигналу.

*Крок 3:* розпізнавання мовної інформації за допомогою розрахунків і побудови гістограм змін пікових рівнів сигналів мовлення.

*Крок 4:* панорамне представлення, частотно-часове відтворення сигналу для визначення виду сигналу, інструментальне оцінювання параметрів сигналу (частоти, ширини смуги частот, параметрів модуляції) і визначення характеристик модуляції.

Для розпізнавання цифрових радіосигналів застосовуються:

- інструментальне оцінювання зсуву частоти;
- оцінювання швидкості передавання інформації;
- аналіз потоку бітів.

В автоматизованих комплексах радіомоніторингу ідентифікація радіовипромінювання проводиться шляхом визначення взаємної кореляції обвідної спектра сигналу, що аналізується, з обвідними спектрів сигналів, які зберігаються в базі даних радіообстановки комплексів (сигналів, які були раніше зареєстровані в процесі проведення радіоконтролю).

Під **ідентифікацією ДРВ** мається на увазі визначення належності даного електромагнітного випромінювання до конкретного джерела на основі аналізу та порівняння характеристик цього випромінювання з відомими [15]. Метою проведення ідентифікації ДРВ є перевірка виконання певним користувачем РЧР умов дозвільних документів, норм і правил у сфері користування РЧР.

Нормативні підстави проведення ідентифікації ДРВ ґрунтуються на положеннях ст. 18 Регламенту радіозв'язку [4], зокрема, на тому, що "всі передачі повинні забезпечувати їхнє розпізнавання із застосуванням розпізнавальних ознак або іншими методами".

Процедура розпізнавання та приклади розпізнавальних ознак для станцій радіомовної служби наведені в [1]. До таких ознак, зокрема, відносяться: позивний сигнал, назва радіостанції, пеленг на радіостанцію або її географічні координати, назва організації, що експлуатує радіостанцію, офіційний реєстраційний номер, розпізнавальний номер рейсу (для літака), характерний сигнал, характеристики радіовипромінювання та інші ознаки, що забезпечують розпізнавання радіовипромінювання в міжнародному масштабі.

Ідентифікація ДРВ здійснюється шляхом застосування таких операцій:

*Крок 1:* проведення ідентифікації радіовипромінювання шляхом визначення характеристик та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання та його класифікації.

*Крок 2:* перевірка можливої належності даного радіовипромінювання якомусь із відомих передавачів (РЕЗ) із БД обліку РЕЗ або передавачів, відо-

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

мости про які містяться в БД обліку частотних присвоєнь, випромінювання яких були раніше зареєстровані засобами радіоконтролю.

*Крок 3:* прийняття рішення стосовно належності певного радіовипромінювання конкретному передавачу (РЕЗ).

У процесі проведення ідентифікації оператор має справу як із відомими радіовипромінюваннями, що значно спрощує цей процес внаслідок отримання інформації за зверненням до певних класифікаторів БД обліку присвоєнь частоти та БД радіообстановки, так і з невідомими радіовипромінюваннями. В цьому випадку ефективність проведення ідентифікації радіовипромінювання значною мірою залежить від кваліфікації та досвіду роботи оператора.

Але, у зв'язку з тим, що радіомоніторинг здійснюється постійно, це забезпечує досить високу ефективність ідентифікації радіосигналів (особливо аналогових ЧМ сигналів) та **ідентифікацію ДРВ**.

За результатами оброблення даних радіомоніторингу:

- визначаються інтегральні оцінки та робляться висновки стосовно ступеня, ефективності та інтенсивності використання (зайнятості) смуг частот (частотних каналів, частот);

- надаються пропозиції стосовно перерозподілу смуг частот із метою забезпечення ефективнішого використання РЧР;

- надається інформація щодо виявлених порушень у сфері користування РЧР, що може бути підставою для проведення технічного радіоконтролю чи реалізації заходів з усунення їхніх причин або припинення роботи РЕЗ (ВП), які порушують установлені норми, правила чи вимоги дозвільних документів.

**Технічний радіоконтроль** організується:

- на підставі виконання планових або позапланових завдань;

- на підставі угод із користувачами РЧР щодо проведення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання;

- у разі виявлення порушень у сфері користування РЧР за результатами проведення радіомоніторингу;

- за заявами користувачів РЧР щодо наявності радіозавад для РЕЗ у певному місці.

Технічний радіоконтроль (раніше цей вид радіоконтролю називали **ефірним радіоконтролем**), як правило, проводиться із застосуванням багатофункціональних мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу, спеціалізованих мобільних станцій радіоконтролю та портативного (носимого) обладнання. В ряді випадків (наприклад, для проведення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання потужних передавачів радіомовної та радіолокаційної служб) можуть застосовуватися стаціонарні засоби радіомоніторингу.

В загальному випадку технічний радіоконтроль реалізується шляхом застосування таких методів:

- 1) пошук і виявлення радіовипромінювань у заданій смузі частот (на заданій частоті);

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

- 2) селекція радіовипромінювань;
- 3) вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання із застосуванням автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу, спеціалізованих і багатофункціональних мобільних комплексів радіоконтролю;
- 4) вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання із застосуванням портативного чи носимого обладнання;
- 5) визначення місцезнаходження ДРВ;
- 6) ідентифікація радіовипромінювання та ДРВ;
- 7) інструментальне оцінювання показників якості обслуговування та показників якості надання послуг.

1. Взагалі алгоритми **виявлення радіовипромінювання**, які застосовуються під час проведення технічного радіоконтролю, не відрізняються від алгоритмів, які використовуються в процесі проведення моніторингу спектра, за винятком того, що пошук радіовипромінювання в процесі проведення технічного радіоконтролю організується *в певному пункті* (на певній позиції), а не на певній території, і технічний радіоконтроль, як правило, реалізується шляхом використання мобільних комплексів технічного радіоконтролю та портативних засобів радіо контролю. Пошук радіовипромінювання в процесі технічного радіоконтролю реалізується шляхом виконання таких процедур:

- 1) визначення певного пункту, де планується проведення робіт щодо виявлення радіовипромінювання та вимірювання його параметрів;
- 2) розташування технічного засобу радіоконтролю у визначеному пункті;
- 3) постановка завдання на проведення сканування смуг радіочастот (окремих радіочастот) із зазначенням діапазону частот сканування, дискретності сканування за частотою, періодичності та швидкості сканування, виду модуляції та задання режиму накопичення даних;
- 4) сканування визначених смуг радіочастот;
- 5) отримання результатів та їхній аналіз;
- 6) виявлення необхідного радіовипромінювання;
- 7) повторення процедури пошуку в іншому пункті в разі відсутності радіовипромінювання в місці контролю.

В разі використання направлених АС (із застосуванням портативного обладнання чи спеціалізованих мобільних станцій технічного радіоконтролю) пошук радіовипромінювання проводиться шляхом сканування за різними напрямками (з різних напрямків).

2. Методи **селекції радіовипромінювань** у процесі проведення технічного радіоконтролю дещо відрізняються від аналогічних методів під час проведення моніторингу спектра, що зумовлено такими чинниками:

- більше різноманіття видів радіосигналів, які можуть спостерігатися під час проведення технічного радіоконтролю (в тому числі, невідомих радіосигналів і радіозавад), та їхніх параметрів;

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

- відсутність автоматизації процедури селекції в разі використання портативних засобів радіоконтролю через відсутність у них вбудованої БД обліку РЕЗ (обліку присвоєнь радіочастот).

В останньому випадку процедура селекції радіовипромінювань полягає в такому:

- 1) виявлення випромінювань у заданій смузі частот (на певній частоті);
- 2) попереднє оцінювання параметрів радіовипромінювання;
- 3) здійснення аналізу шляхом проведення суб'єктивного оцінювання за визначеними критеріями відповідності параметрів і характеристик радіовипромінювання (параметрів і характеристик сигналів) передавачам відомих категорій радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку;
- 4) прийняття рішення стосовно належності конкретного радіовипромінювання до певної категорії (групи).

**3. Вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання** в процесі проведення технічного радіоконтролю із застосуванням автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу не відрізняється від методів вимірювання під час моніторингу спектра.

Вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання в разі застосування спеціалізованих мобільних комплексів технічного радіоконтролю дещо відрізняється від розглянутих вище методів вимірювання в разі використання стаціонарних і мобільних засобів радіомоніторингу загального призначення. Це зумовлено розширеними можливостями таких комплексів, зокрема, наявністю вимірювальних антен (АС), можливістю просторової селекції радіовипромінювань за рахунок обертання антен в азимутальній площині та зміни кута їхнього нахилу тощо, хоча, в цілому, сам процес вимірювання (інструментального оцінювання) суттєво не відрізняється від зазначеного для автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу. Його суттєва перевага - це більша достовірність вимірів завдяки можливості проведення контролю безпосередньо біля місця розташування РЕЗ (ВП) або в місці, де спостерігаються радіозавади.

4. Процес **вимірювання (інструментального оцінювання) параметрів радіовипромінювання** в разі застосування портативних (носимих) засобів радіоконтролю полягає в реалізації таких процедур:

- 1) проведення панорамного спектрального аналізу в смузі частот, в якій планується виконання радіоконтролю параметрів радіовипромінювання, із застосуванням ненаправлених або слабо направлених антен та обертанням їх в азимутальній площині;
- 2) візуальне виявлення запланованого радіовипромінювання;
- 3) установлення направленої вимірювальної антени та визначення орієнтовного напрямку на джерело, випромінювання якого аналізуються;
- 4) аналіз заданої смуги частот і суміжних із нею смуг стосовно відсутності (наявності) сторонніх радіовипромінювань, які можуть завадити проведенню контролю чи вплинути на його результати;

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

5) орієнтування антени на ДРВ за критерієм максимального значення рівня сигналу на екрані дисплею вимірювального засобу;

6) визначення параметрів радіосигналу (частоти, ширини смуги частот, рівня сигналу, напруженості електромагнітного поля тощо);

7) аналіз отриманих результатів.

В разі вимірювання (інструментального оцінювання) параметрів радіовипромінювання РЕЗ (ВП) із використанням портативних засобів радіоконтролю їх потрібно розташовувати якомога ближче до контрольованого ДРВ у створі головної пелюстки діаграми направленості (ДН) його АС. При цьому потрібно застосовувати каліброване обладнання та направлені антени.

Цей метод може використовуватися для визначення параметрів радіовипромінювання передавачів у мережах стільникового зв'язку, WLAN, безпроводової телефонії та, в окремих випадках, РЕЗ радіорелейних станцій і земних станцій супутникового зв'язку.

В деяких випадках (наприклад, у разі здійснення технічного радіоконтролю передавачів у мережах систем WLAN, GSM-900, DCS-1800) застосування відмічених способів для визначення місцезнаходження базових станцій недоцільне через неможливість ототожнення пеленгів на певний передавач. Хоча в разі застосування портативних засобів радіомоніторингу вони можуть бути допоміжними для визначення орієнтовного (можливого) територіального розташування АС. Остаточне визначення місцезнаходження РЕЗ таких систем проводиться шляхом візуалізації місцезнаходження антен їхніх передавачів.

**5. Процедура визначення місцезнаходження ДРВ** шляхом застосування стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу розглянута вище.

Визначення місцезнаходження ДРВ із застосуванням мобільних засобів радіоконтролю реалізується шляхом:

1) проведення панорамного спектрального аналізу в смузі частот, в якій планується пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ;

2) аналізу цієї смуги частот щодо наявності радіовипромінювання інших (сторонніх) ДРВ;

3) безперервного вимірювання пеленгів на контрольоване ДРВ у процесі руху мобільного комплексу;

4) визначення орієнтовного місця розташування ДРВ і його географічних координат із застосуванням електронної карти місцевості;

5) додаткового контролю випромінювання, місцезнаходження джерела якого визначається, для того щоб упевнитися в тому, що воно належить саме цьому ДРВ;

6) уточнення місцезнаходження передавача РЕЗ шляхом візуалізації його АС.

Визначення місцезнаходження ДРВ із використанням портативного (носимого) обладнання ґрунтується на застосуванні направлених антен. Місцезнаходження ДРВ визначається триангуляційним методом як точка

## ЗАВДАННЯ СЛУЖБИ РАДІОМОНІТОРИНГУ. МЕТОДИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

---

перетину декількох (щонайменше двох) пеленгів (напрямоків) виміряних на нього з декількох рознесених позицій і реалізується шляхом проведення таких процедур:

- 1) визначення в певному пункті напрямку (азимуту) на ДРВ, який відповідає максимальному рівню сигналу на заданій частоті;
- 2) визначення напрямку (азимуту) на ДРВ в інших (щонайменше двох) територіально рознесених пунктах;
- 3) нанесення ліній напрямків на карту місцевості;
- 4) визначення можливого місцезнаходження ДРВ за точкою перетину нанесених ліній;
- 5) виявлення антен (АС) передавача РЕЗ шляхом їхньої візуалізації;
- 6) визначення географічних координат місцезнаходження ДРВ.

**6. Інструментальне оцінювання показників якості обслуговування та показників якості надання послуг** реалізується лише шляхом використання спеціалізованих мобільних комплексів радіоконтролю мереж загального користування, таких як, наприклад, мереж стільникового зв'язку, WLAN, цифрового телевізійного та звукового мовлення.

За цим методом:

- вимірюється рівень напруженості електромагнітного поля вздовж маршруту руху мобільного комплексу;
- вимірюються показники якості послуг (QoS, Quality of Service) та якості обслуговування (QOS, Quality Operating Service).

Для проведення вимірювань використовується спеціальне обладнання під керуванням персональної обчислювальної машини (ПЕОМ) зі спеціалізованим ПЗ.

За результатами технічного радіоконтролю робляться висновки стосовно легітимності роботи певного РЕЗ (ВП) та відповідності параметрів і характеристик його радіовипромінювання вимогам нормативних документів, умовам наданих ліцензій та дозволів. У разі виявлення порушень вони можуть бути підставою для проведення поглибленого технічного радіоконтролю чи реалізації заходів щодо усунення їхніх причин або припинення роботи цих РЕЗ (ВП).

За способами організації технічний радіоконтроль поділяється на плановий, оперативний та пошуковий.

**Плановий технічний радіоконтроль** проводиться протягом певного періоду часу (добы, тижня, місяця) відповідно до затвердженого плану з метою перевірки виконання умов ліцензій користувачами РЧР, виявлення джерел радіозавад і незаконно діючих передавачів.

**Оперативний технічний радіоконтроль** проводиться за окремим завданням і (чи) вказівкою керівництва.

**Пошуковий технічний радіоконтроль** проводиться вибірково на визначених смугах частот або певних частотах із метою отримання інформації стосовно роботи нових чи раніше виявлених ДРВ і визначення їхніх частотних і часових характеристик.

## Розділ 2

## РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР

## 2.1 Органи міжнародної діяльності у сфері користування РЧР

**Міжнародний союз електрозв'язку** (International Telecommunication UNION, ITU) зі штаб-квартирою в м. Женева є спеціалізованою міжнародною установою, яка займається питаннями розвитку мереж та служб електрозв'язку (включаючи регулювання використання спектра) у всесвітньому масштабі. Загальна структура керівних органів Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) наведена на рис. 2.1.

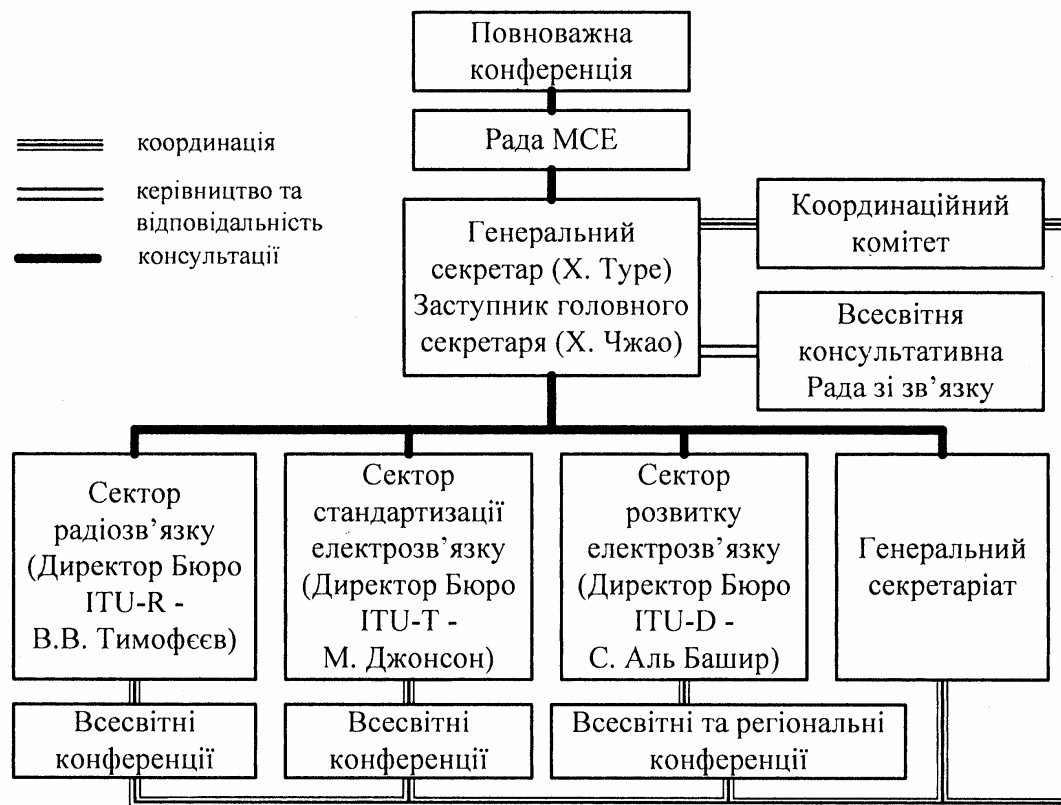


Рис. 2.1. Загальна структура керівних органів МСЕ

Організація діяльності МСЕ регламентується Статутом МСЕ [22] (остання редакція прийнята в 2003 році), Конвенцією МСЕ [23], а також положеннями Адміністративних регламентів:

- Регламенту міжнародного електрозв'язку;

- Регламенту радіозв'язку [4].

Відповідно до положень Статуту МСЕ основною метою діяльності МСЕ є:

- забезпечення та розширення міжнародного співробітництва між членами Союзу з метою вдосконалення й раціонального використання всіх видів електрозв'язку, сприяння технічній допомозі в галузі електрозв'язку та надання її країнам, що розвиваються;

- сприяння розвитку технічних засобів та їхній найефективнішій експлуатації для підвищення продуктивності служб електрозв'язку, розширення сфери їх застосування та максимального використання населенням;

- сприяння поширенню новітніх технологій у галузі електрозв'язку;

- узгодження міжнародної діяльності всіх країн, спрямованої на досягнення зазначеної мети.

МСЕ розподіляє РЧС і виділяє радіочастоти, реєструє присвоєння частот, а також координує діяльність, спрямовану на підвищення ефективності використання смуг радіочастот і запобігання появи та усунення неприпустимих радіозавад між радіостанціями різних країн.

Вищим керівним органом МСЕ є **Повноважна Конференція**, яка проводиться, як правило, один раз у чотири роки. Повноважна Конференція приймає фундаментальні довгострокові рішення щодо визначення основних напрямків розвитку телекомунікацій, вирішує питання організації діяльності МСЕ, визначає бюджет установи, а також обирає Генерального секретаря, його заступника, членів Ради, Радіорегламентарного комітету та Директорів Бюро Секторів.

**Рада МСЕ** забезпечує відповідність стратегії МСЕ умовам розвитку електрозв'язку у світі, координацію роботи МСЕ та фінансовий контроль його діяльності, а також приймає бюджет на два роки. Крім цього, Рада керує діяльністю МСЕ протягом часу між Повноважними конференціями та діє від її імені.

У складі Ради МСЕ нині 46 членів, які вибрані Повноважною конференцією. Їхнє представництво за певними регіонами світу визначається пропорційно до кількості держав-членів МСЕ (по 8 від Америки та Західної Європи, 5 - від Східної Європи, 13 - від Африки і 12 - від Азії та Австралії).

Функції **Сектору радіозв'язку** полягають у реалізації (з урахуванням особливих інтересів країн, що розвиваються) мети діяльності Союзу шляхом забезпечення раціонального, справедливого, ефективного та економного використання РЧС усіма службами радіозв'язку, проведення досліджень та прийняття рекомендацій з питань радіозв'язку.

Історично сектор радіозв'язку сформувався в 1993 році на базі Міжнародного консультативного комітету з радіомовлення (CCIR, Consultative Committee [of International Radio]) та Міжнародного комітету реєстрації радіочастот (IFRB, International Frequency Registration Board).

Сектор радіозв'язку здійснює свою роботу через:

- Всесвітні конференції з радіозв'язку (ВКР);



- Регіональні конференції з радіозв'язку (РКР);
- Асамблеї з радіозв'язку (АР);
- Бюро радіозв'язку (ITU-R) на чолі з директором;
- Радіорегламентарний комітет;
- Консультативну групу з радіозв'язку;
- дослідницькі комісії з радіозв'язку.

Функції **Сектору стандартизації** електрозв'язку полягають у виконанні завдань МСЕ стосовно питань стандартизації електрозв'язку шляхом вивчення технічних, експлуатаційних і тарифних питань та прийняття відповідних рекомендацій щодо стандартизації електрозв'язку на всесвітній основі. Сектор стандартизації є спадкоємцем Міжнародного консультативного комітету з телеграфії та телефонії (СІТТ, Consultative Committee for International Telephone and Telegraphy).

Сектор здійснює свою роботу через:

- Всесвітні асамблеї зі стандартизації електрозв'язку (ВАСЕ)
- Бюро стандартизації електрозв'язку (ITU-T) на чолі з директором;
- Консультативну групу зі стандартизації електрозв'язку;
- дослідницькі комісії зі стандартизації електрозв'язку.

Функції **Сектору розвитку** електрозв'язку полягають у сприянні розвитку, прискоренню зростання, розширенню та експлуатації мереж і служб електрозв'язку, особливо у країнах, що розвиваються, а також у сприянні участі промисловості в розвитку електрозв'язку, заохоченні та координації програм, спрямованих на прискорення передавання таким країнам відповідних технологій у галузі електрозв'язку.

**Сектор розвитку** електрозв'язку здійснює свою роботу через:

- Всесвітні та Регіональні конференції з розвитку електрозв'язку;
- Бюро розвитку електрозв'язку (ITU-D) на чолі з директором;
- Консультативну групу з розвитку електрозв'язку;
- регіональні відділення;
- дослідницькі комісії з розвитку електрозв'язку.

Адміністративні (всесвітні та регіональні) конференції розглядають певні питання стосовно електрозв'язку, наприклад, розробку частотних планів радіослужб, перегляд положень Регламенту радіозв'язку тощо.

Нині членами МСЕ є 191 держава, крім того, близько 630 компаній (установ, організацій) є членами Секторів МСЕ.

Питання радіомоніторингу як складники входять безпосередньо до сфери повноважень Бюро радіозв'язку та Бюро розвитку електрозв'язку.

**Європейська конференція адміністрацій пошти та зв'язку** (Conference of European Post and Telecommunications, СЕРТ, зі штаб-квартирою в Норвегії) заснована 19 європейськими країнами в 1959 р. з метою забезпечення тіснішого співробітництва між операторами зв'язку європейських держав. Умови членства в СЕРТ полягають у належності учасників, по-перше, до країн Європи і, по-друге, в членстві у Всесвітньої організації поштового зв'язку (Universal Postal Union, UPU) та (або) електрозв'язку - ITU. Нині ця

організація становить собою регіональне об'єднання, до якого входять 46 держав Європи.

Цільова функція діяльності СЕРТ, як об'єднання поштового й електрозв'язку, узагальнено полягає в зміцненні співпраці держав-членів і створенні умов динамічного розвитку цих видів зв'язку в країнах Європи шляхом наступних заходів:

- визначення пріоритетів розвитку пошти й телекомунікацій;
- створення форуму для визначення регуляторної політики в галузі зв'язку;
- забезпечення умов для взаємодопомоги між державами-членами об'єднання;
- визначення загальної позиції країн Європи щодо питань, розглядуваних ІТУ та УРУ;
- підтримка стандартизації в галузі поштового й електрозв'язку на загальноєвропейському рівні.

Сукупність поточних і стратегічних задач СЕРТ щодо управління використанням РЧС входить до сфери діяльності Комісії з електронного зв'язку (Electronic Communication Commission, ЕСС). Базовими документами СЕРТ/ЕСС стосовно розподілу частот є:

- Загальноєвропейська таблиця розподілу частот (European Common Allocation Table, ЕСА), яка була розроблена в 1992 - 2000 роках і є вихідним джерелом інформації для розробки національних таблиць розподілу частот;
- Європейська таблиця розподілу й використання частот (European Table of Frequency allocations and Utilization).

Управління використанням РЧС у Європі здійснюється згідно з рекомендаціями МСЕ, але в разі наявності часткових відхилень, вони узгоджуються СЕРТ із ІТУ. Типовим прикладом такого відхилення може бути використання РЧС для системи мобільного зв'язку 3-го покоління, розробленої СЕРТ під назвою "Універсальна мобільна телекомунікаційна система" (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS). Наприклад, оскільки в країнах Європи рекомендації МСЕ стосовно діапазону частот систем ІМТ-2000 частково реалізувати було не можливо, то рішенням СЕРТ/ЕСС для UMTS була виділена смуга частот з шириною на 7 % менше рекомендованої МСЕ (215 МГц замість 230 МГц).

В цілому, мета діяльності СЕРТ стосовно поштового зв'язку й телекомунікацій зводиться до деталізації діяльності міжнародних організацій (УРУ і ІТУ) щодо країн Європи.

**Європейський інститут телекомунікаційних стандартів** (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) заснований у 1988 р. зборами директорів СЕРТ. Основний вид діяльності інституту - розроблення стандартів у галузі зв'язку та суміжних із нею галузей. На території Європи інститут несе відповідальність за стандартизацію у сфері телекомунікацій, телевізійного та радіомовлення і деяких інформаційних технологій. Членами ETSI, окрім операторів зв'язку, є представники виробників, користувачів,

постачальників послуг, а також представники організацій із національних стандартів.

Діяльність ETSI щодо стандартизації в галузі телекомунікацій тісно пов'язана з діяльністю СЕРТ.

Існує розгорнута деталізована система процесів стандартизації та регулювання в галузі європейського електрозв'язку, в якій взаємодіють СЕРТ/ЕСС і ETSI. Головні її риси такі:

1) ініціювання розроблення нормативних документів може відбуватися з боку кожної з організацій (СЕРТ/ЕСС або ETSI);

2) ETSI, як розробник стандартів стосовно технічних характеристик станцій і систем, має узгоджувати всі питання стосовно використання РЧР із СЕРТ/ЕСС;

3) СЕРТ/ЕСС, як розробник регуляторних актів стосовно використання РЧР, приймає до уваги рекомендації ІТУ та враховує специфіку використання РЧР в європейських країнах, при цьому, головну роль щодо визначення позиції СЕРТ/ЕСС стосовно використання РЧР відіграють дві робочі групи ЕСС: робоча група з управління спектром (Working Group Frequency Management, WGFM) і робоча група з технології радіочастотного спектра (Working Group Spectrum Engineering, WGSE);

4) вихідним публікаціям (прийняттю) регуляторних документів ETSI і СЕРТ/ЕСС передують громадське обговорення й прийняття до уваги його результатів у кінцевих редакціях цих документів.

Розроблені стандарти затверджуються на технічній асамблеї та проходять випробування протягом певного терміну як тимчасові європейські телекомунікаційні стандарти I-ETS (Interim European Telecommunications Standards). Після закінчення випробувального терміну серед держав-членів інституту проводиться голосування і прийнятою більшістю голосів документам I-ETS надається статус європейських стандартів ETS.

Стандартизація електрозв'язку, як об'єкт, що поєднує діяльність ETSI та СЕРТ, забезпечує взаємодію телекомунікаційних систем, впровадження інновацій і розвиток нових ринків, створення довіри до ринкових товарів і відвертання зайвого дублювання в процесах розробки телекомунікаційних засобів.

**Міжнародна організація стандартизації** (International Standards Organization, ISO) займається розробленням стандартів, у тому числі, в галузі телекомунікацій. ISO основана в 1946 р. і об'єднує більше 70 національних організацій зі стандартизації, серед яких: Американський національний інститут стандартів (American National Standards Institute, ANSI), Німецький інститут стандартизації (Deutsches Institut für Normung e.V, DIN), Британський інститут стандартів (British Standards Institute, BSI). Одними з найвідоміших стандартів ISO вважаються стандарти якості серії ISO 9000, а в галузі телекомунікацій - семирівнева Еталонна модель взаємодії відкритих систем OSI (Open Systems Interconnection).

**Інститут інженерів електротехніки та електроніки** (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) - організація інженерів, учених і студентів США, яка займається питаннями стандартизації в галузі зв'язку та суміжних із нею галузей і функціонує як координаційний орган із комп'ютерних та телекомунікаційних стандартів.

**Американський національний інститут стандартів** (ANSI) займається питаннями стандартизації з 1918 р., контролює та координує систему стандартів, яких дотримуються добровільно. Представляє інтереси США в ISO та частково у Міжнародній електротехнічній комісії (International Electrotechnical Commission, IEC). Комітети у структурі ANSI розробляють стандарти для застосування в США, потім вони передаються на розгляд комісій з питань стандартів ISO або IEC із розрахунком, що в подальшому стануть міжнародними. Стандартизацію та координацію робіт у галузі зв'язку здійснює технічний комітет EI.

**Європейський комітет стандартизації в галузі електротехніки** (Comite European de Normalisation ELEctrotechnique, CENELEC). Основна діяльність комітету поширюється на сферу інформаційних технологій. Комітет активно займається підготовкою функціональних стандартів для взаємодії відкритих систем (OSI), разом з IEC - електротехнічними аспектами, а з Європейським комітетом зі стандартизації (Comite European de Normalisation, CEN) випускає європейські стандарти, проекти яких позначаються як ENV, а після випробувального терміну тривалістю від 2 до 3 років - EN. Комітет відповідальний за координацію стандартів із безпеки й електромагнітного випромінювання електричного обладнання в Європейському економічному співтоваристві (ЄЕС) і прагне розробити єдиний набір стандартів для застосування у всіх країнах ЄЕС.

## **2.2 Органи державного регулювання та управління у сфері користування РЧР України**

В Україні державне регулювання та управління у сфері користування РЧР ґрунтується на застосуванні Законів України "Про радіочастотний ресурс України" [6], "Про телекомунікації" [17], "Про ратифікацію Статуту та Конвенції Міжнародного союзу електрозв'язку", інших підзаконних актів. Відповідно до Закону України "Про радіочастотний ресурс України" органи влади у сфері користування РЧР поділяються на:

- органи державного управління;
- органи державного регулювання.

До органів державного управління відносяться - Кабінет Міністрів України (КМУ);

- Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку (ЦОВЗ).

Органом державного регулювання у сфері користування РЧР України є Національна комісія з питань регулювання зв'язку (НКРЗ), до складу якої входить Державна інспекція зв'язку (ДІЗ). До сфери управління НКРЗ також

відноситься Державне підприємство "Український державний центр радіочастот" (УДЦР). Крім цього, до регуляторних органів також відносяться Національна рада з питань телебачення і радіомовлення (НРТМ) і Генеральний штаб Збройних Сил України (ГШ ЗСУ), повноваження яких визначаються Законом України „про радіочастотний ресурс України”.

Структура взаємодії органів державного управління та регулювання у сфері користування РЧР України наведена на рис. 2.2.

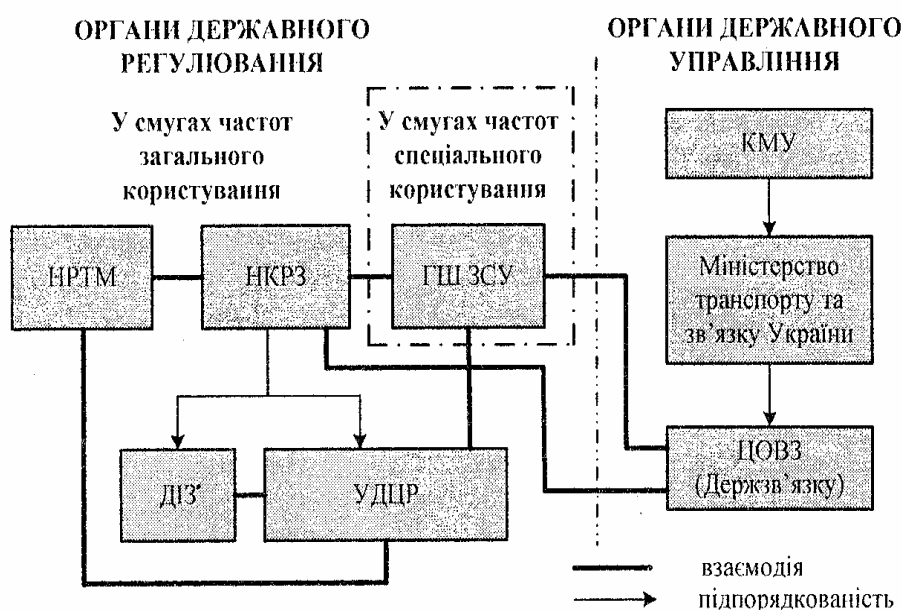


Рис. 2.2. Структура взаємодії органів державного управління та регулювання у сфері користування РЧР України

### Кабінет Міністрів України:

- затверджує Національну таблицю розподілу смуг радіочастот України (НТРЧ) [18] і План використання РЧР України [19];
- координує діяльність центральних органів виконавчої влади щодо управління та користування РЧР України;
- забезпечує конверсію РЧР України;
- встановлює розміри зборів за користування РЧР України.

### Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку:

- координує реалізацію державної політики у сфері користування РЧР України;
- визначає необхідний і достатній для потреб України РЧР, здійснює заходи щодо його захисту на міжнародному рівні;
- бере участь у створенні державних стандартів щодо користування РЧР в Україні;
- розробляє проекти законів та інших нормативно-правових актів щодо користування РЧР України;

- організовує проведення досліджень, затверджує плани науководослідних і дослідно-конструкторських робіт щодо розподілу, виділення, присвоєння радіочастот, забезпечення ЕМС РЕЗ, а також функціонування системи радіочастотного моніторингу;

- виконує обов'язки Адміністрації зв'язку та представляє інтереси України в міжнародних установах із питань користування РЧР України.

**Національна комісія з питань регулювання зв'язку** (повноваження обмежуються смугами частот загального користування):

- здійснює ліцензування у сфері користування РЧР України;

- розробляє та затверджує нормативно-правові акти щодо регулювання у сфері користування РЧР України;

- бере участь у розробці та узгодження НТРЧ і Плану використання РЧР України;

- встановлює розміри плати за видачу дозволів на експлуатацію РЕЗ і визначає розміри щомісячних зборів за користування РЧР;

- здійснює контроль за проведенням радіочастотного моніторингу;

- встановлює порядок реалізації, експлуатації РЕЗ і ВП на території України та порядок уезвезення їх із-за кордону:

- здійснює контроль за виконанням Плану використання РЧР України;

- забезпечує проведення конверсії РЧС;

- узгоджує тематичні плани науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт щодо розподілу, виділення та присвоєння радіочастот, забезпечення ЕМС РЕЗ та функціонування СРЧМ;

- забезпечує міжнародну координацію та міжнародний захист частотних присвоєнь, бере участь у роботі МСЕ та інших міжнародних організаціях з питань, що належать до компетенції НКРЗ.

**Державне підприємство "Український державний центр радіочастот"**, повноваження якого поширюються на користувачів РЧР України у смугах частот загального користування, здійснює такі види діяльності:

- присвоює радіочастоти та видає дозволи на експлуатацію РЕЗ;

- веде реєстр присвоєнь радіочастот;

- проводить радіомоніторинг використання РЧР України;

- здійснює заходи щодо забезпечення ЕМС РЕЗ і ВП;

- здійснює заходи щодо виявлення та усунення дії джерел радіозавад;

- готує висновки для прийняття НКРЗ рішень щодо видачі ліцензій на користування РЧР;

- готує висновки для НРТМ щодо можливості та умов користування РЧР для телерадіомовлення;

- видає дозволи на ввезення з-за кордону та реалізацію РЕЗ і ВП

**Державна інспекція зв'язку:**

- здійснює державний нагляд за користуванням РЧР України та заходи щодо запобігання правопорушень при користуванні РЧР у смугах радіочас-

тот загального користування;

- притягує у встановленому законом порядку до адміністративної відповідальності осіб, винних у порушенні законодавства про РЧР України;
- готує для НКРЗ матеріали за результатами перевірок.

### **2.3 Державне регулювання у сфері користування РЧР України**

Державне регулювання у сфері користування РЧР України здійснюється шляхом уведення та застосування спеціальних дозвільних процедур на базі положень Закону України "Про радіочастотний ресурс України", а також відповідних нормативно-правових актів і нормативно-технічних документів - постанов, наказів, положень, інструкцій тощо.

Регулювання у сфері користування РЧР передбачає проведення цілого комплексу процедур щодо планування використання РЧР.

Планування використання РЧР України здійснюється за ієрархічною багаторівневою схемою, що реалізує поетапну деталізацію характеристик РЕЗ, які можуть бути застосовані, за різними признаками від загального до окремого (ступінь рухомості, регіон застосування, володар-користувач, потужність передавача, частота тощо). Планування охоплює всі процедури від розподілу радіочастот між радіослужбами до присвоєння частоти конкретному РЕЗ. Порядок планування та регулювання використання РЧР України наведений на рис. 2.3.

Верхнім рівнем планування використання РЧР України є розподіл смуг радіочастот між радіослужбами. Нині за різними признаками виділяють до 39 різних радіослужб, зокрема: фіксовану, рухому, супутникову, радіолокаційну, радіомовну, морську, сухопутну, повітряну, радіоастрономічну, радіонавігаційну тощо. При цьому, треба відмітити, що за існуючою класифікацією деякі радіотехнології можуть бути віднесені до двох і більше радіослужб.

На першому етапі процедури регулювання використання РЧР на підставі застосування МТРЧ, перспективних планів упровадження радіотехнологій та досліджень з ЕМС радіослужб розробляється НТРЧ України. При цьому більшість смуг радіочастот можуть використовуватися декількома радіослужбами. Тому в НТРЧ указується як пріоритетність радіослужб (на первинній або вторинній основі), так і статус смуги частот: загального (ЗК) або спеціального (СК) користування. Існуючі особливості застосування розподілених смуг радіочастот в Україні (конкретизовані (уточнені) умови використання смуг, номіналів частот) порівняно з МТРЧ визначаються (у другій графі НТРЧ) примітками, які починаються з літери "У".

Перелік спеціальних користувачів РЧР України (до яких відносяться 11 відомств, зокрема, Міністерство оборони України, Служба безпеки України, Міністерство внутрішніх справ, Міністерство з надзвичайних ситуацій на ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи, Служби зовнішньої розвідки, Управління державної охорони та інші) визначений Законом України "Про радіочастотний ресурс України".



Рис. 2.3. Порядок планування та регулювання використання РЧР України

Чинна нині НТРЧ України затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 15.12.2005 р. № 1208 [18].

На другому етапі процедури регулювання в межах розподілених смуг радіочастот виділяються смуги частот для певних радіотехнологій і стандартів зв'язку (з визначенням термінів дії чи строків розробки, виробництва, модернізації, експлуатації або ввезення з-за кордону). Чинний нині порядок виділення смуг радіочастот наведений на рис. 2.4.

Виділення радіочастот закріплюється в Плані використання РЧР України [19], який згідно із Законом України "Про радіочастотний ресурс України" розробляється ЦОВЗ на підставі пропозицій та із залученням усіх регуляторних органів у сфері користування РЧР (НКРЗ, УДЦР, ГШ ЗСУ, ДІЗ) і затверджується КМУ.





Рис. 2.4. Порядок виділення смуг радіочастот

У процесі виділення смуг радіочастот ураховують результати досліджень щодо визначення (розрахунків) EMC РЕЗ, що плануються до упровадження та використання, з іншими РЕЗ, які використовують ту ж саму смугу частот. Це дозволяє в подальшому здійснювати частотно-територіальне планування застосування даного РЕЗ під час проведення розрахунків EMC для присвоєння радіочастот.

Суть ліцензування (рис. 2.5) заключається в отриманні кожним користувачем РЧР спеціального дозволу (ліцензії) на користування конкретним РЕЗ певної смуги частот у межах конкретного регіону (під регіоном мається на увазі одна з 25 областей України, місто Київ або Севастополь).

РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР



Рис. 2.5. Загальний порядок ліцензування

Згідно із Законом України "Про радіочастотний ресурс України" ліцензія на користування РЧР для надання телекомунікаційних послуг видається одночасно з ліцензією на вид діяльності (за винятком потреб телебачення та звукового мовлення, де підставою для користування РЧР є ліцензія на мовлення). Рішення щодо надання ліцензії приймається НКРЗ на підставі результатів експертизи умов ЕМС РЕЗ, що заявляються, у певному регіоні. Така експертиза проводиться УДЦР. За отримання відповідних висновків і ліцензії заявники сплачують до Держбюджету України одноразові платежі, розміри яких визначені КМУ. Між тим, наявність ліцензії є необхідною, але не достатньою умовою для користування РЧР України.

Присвоєння радіочастот (смуг частот, частотних каналів) здійснюється стосовно конкретного РЕЗ із певними географічними координатами, технічними та експлуатаційними характеристиками: вихідною потужністю передавача, смугою радіочастот, висотою підвісу антени, поляризацією, ДН антени у вертикальній та азимутальній площинах, час роботи тощо. Порядок проведення експертизи ЕМС для присвоєння радіочастот РЕЗ загального призначення відображений на рис. 2.6.

РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР

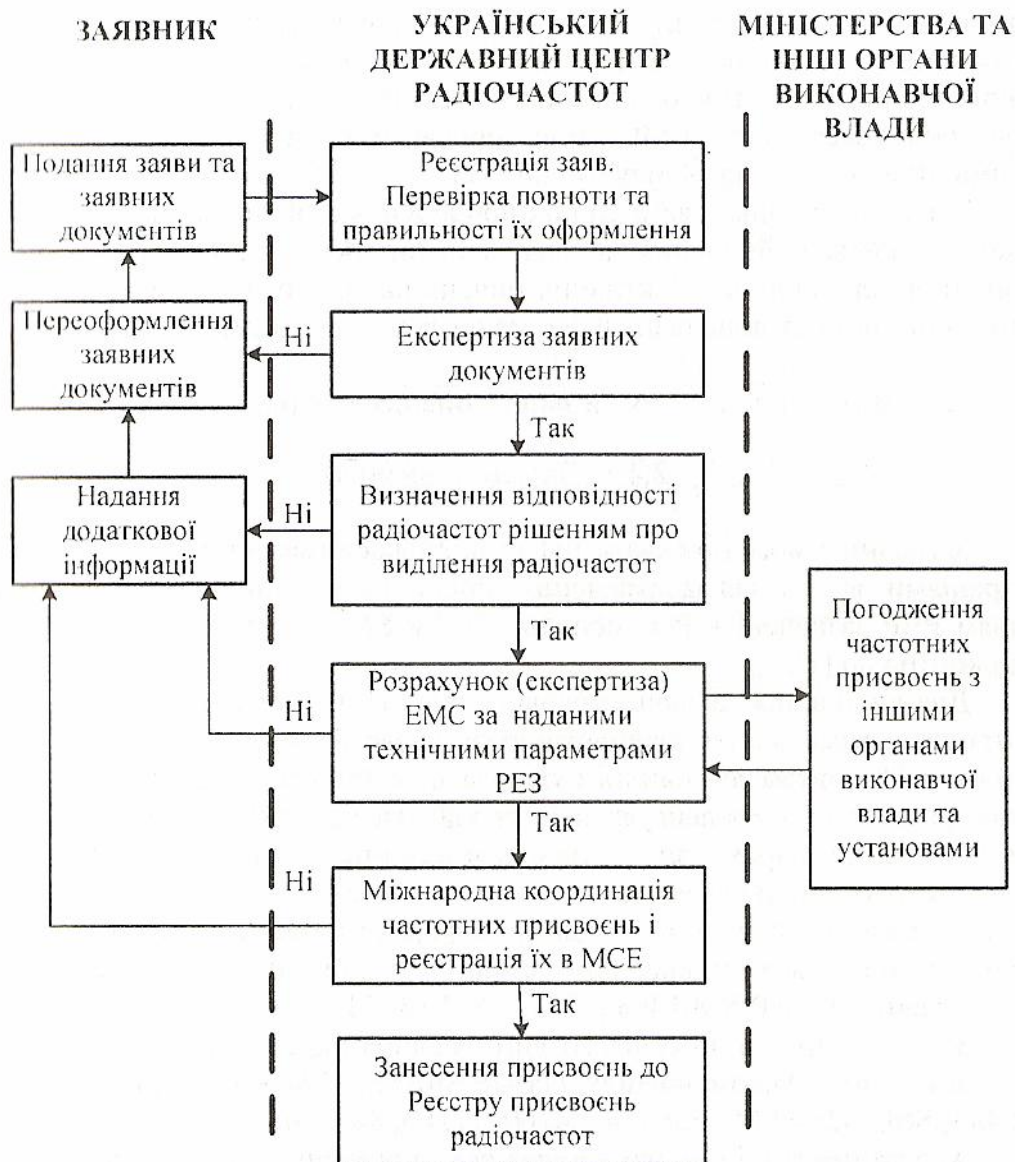


Рис. 2.6. Порядок проведення експертизи ЕМС для присвоєння радіочастот

Нині процедура присвоєння радіочастот в Україні базується на застосуванні «Положення про надання висновків щодо електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів» [20]. Очевидно, що це можливо лише за умов наявності в користувача ліцензії на користування радіочастотою (смугою частот). Присвоєння радіочастот здійснюють:

- у смугах радіочастот загального користування - УДЦР;
- у смугах радіочастот спеціального користування - ГШ ЗСУ.

На цьому етапі УДЦР та ГШ ЗСУ проводять детальнішу експертизу умов ЕМС (з урахуванням конкретних місць розташування передавачів, електричних параметрів і характеристик РЕЗ та їхніх АС). За необхідності здійснюються заходи щодо координації з відповідними органами сусідніх

держав. Під час розгляду заяв може проводитися уточнення деяких параметрів і характеристик РЕЗ (потужність, номінальні значення частот тощо). В разі позитивного рішення (після оплати вартості послуг за проведення експертизи ЕМС) етап присвоєння частот РЕЗ завершується отриманням дозволу на експлуатацію РЕЗ.

Така прискіплива увага до цих процедур, які, на перший погляд, мають лише віддалене відношення до радіомоніторингу, зумовлена тим, що для прийняття відповідних об'єктивних рішень на кожному із зазначених етапів різним органам потрібна різна інформація за результатами радіомоніторингу.

## **2.4 Вимоги до складу та змісту інформації радіомоніторингу**

### **2.4.1 Загальні вимоги**

Загальні вимоги до складу інформації, яка вимагається від СРЧМ Адміністраціями зв'язку для забезпечення вирішення завдань управління використанням РЧР зазначені в Рекомендації ITU-R SM.1050 [12] та в Довіднику з радіоконтролю [1].

Для вирішення завдань стосовно моніторингу РЧС і технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання засоби радіомоніторингу та технічного радіоконтролю повинні бути здатними виявляти ці радіовипромінювання, розпізнавати, пеленгувати та визначати місцезнаходження їхніх джерел, вимірювати параметри радіовипромінювання, а також вирішувати деякі додаткові та спеціальні завдання.

Загальні вимоги щодо узгоджених форматів представлення інформації, якою обмінюються міжнародні станції радіомоніторингу, зазначені в Рекомендаціях ITU-R SM.1393 [174] та SM.1394 [175].

Загальні вимоги до точності вимірювання параметрів радіовипромінювань зазначені в Рекомендаціях ITU-R SM.329, SM.1268, SM.378, SM.377, SM.443, SM.182 та SM.1536 [14, 54, 69, 77, 83, 84, 176].

Але на практиці вимоги до складу та показників якості інформації, яка вимагається від СРЧМ, визначаються також потребами споживачів цієї інформації.

Основними споживачами інформації стосовно реального стану використання РЧР, електромагнітної обстановки, наявності радіовипромінювань їхніх параметрів і характеристик в Україні є:

- Адміністрація зв'язку;
- Національна комісія з питань регулювання зв'язку - у смугах частот загального користування;
- ГШ ЗСУ - у смугах частот спеціального користування;
- ДІЗ України;
- управління радіочастотних присвоєнь УДЦР;
- державні регуляторні частотні органи та органи нагляду за використанням РЧР інших країн;



- орган виконавчої влади;
- міжнародні організації (МСЕ, СЕРТ тощо);
- користувачі РЧР України;
- юридичні та фізичні особи;
- безпосередньо управління радіочастотного моніторингу та підрозділи радіочастотного контролю в регіональних філіях УДЦР.

Загальний перелік інформації, що надається споживачам, та її поділ наведені на рис, 2.7,



Рис. 2.7. Категорії інформації, яка надається споживачам

До складу адміністративних входять такі дані:

- місцезнаходження ДРВ і незаконно діючих передавачів (НДП);
- інформація про власника РЕЗ як користувача РЧР;
- дані щодо технічних параметрів РЕЗ, які зареєстровані в БД обліку РЕЗ (обліку частотних присвоєнь): потужність передавача, висота підвісу антени, присвоєна частота, присвоєна ширина смуги частот, характеристики ДН антени передавача тощо;
- підстави (законність) роботи РЕЗ: наявність ліцензії, дозволу на експлуатацію РЕЗ або інших дозвільних документів.

Під місцезнаходженням ДРВ та незаконно діючих передавачів маються на увазі їхні географічні координати та адреса власника - користувача РЧР, які визначаються за результатами радіомоніторингу та уточнюються з використанням облікової інформації із БД обліку РЕЗ (обліку частотних присвоєнь). Решта інформації, зокрема, стосовно користувача РЧР, наявності дозволів і ліцензій, а також дані щодо технічних параметрів РЕЗ, які визначені дозвільними документами, також надходить із цієї БД.

Законність роботи РЕЗ (ВП) визначається за результатами радіомоніторингу на підставі результатів ідентифікації (ототожнення) виявленого радіовипромінювання із заздалегідь відомими випромінюваннями РЕЗ шляхом порівняння технічних параметрів і характеристик цього випромінювання з параметрами та спектральними характеристиками РЕЗ із бази даних радіомоніторингу, або розрахованих географічних координат із відомими та подальшою перевіркою наявності ліцензії й дозволу на експлуатацію.

До категорії технічних даних віднесені такі параметри та характеристики радіовипромінювання:

- частота радіовипромінювання (та її відхилення від нормованого значення);
- ширина смуги частот радіовипромінювання;
- клас радіовипромінювання;
- напруженість електромагнітного поля;
- девіація частоти ЧМ сигналів;
- зайнятість радіочастотних каналів, діапазонів, смуг частот та окремих частот.

Потреби споживачів в інформації радіомоніторингу наведені в табл 2.1.

Категорія інформації	Технічні дані					Адміністративні дані		
	Частота	Ширина смуги частот	Напруженість електромагнітного поля	Девіація частоти	Зайнятість смуг частот	Місце-знаходження ДРВ	Місце-знаходження НДП	Підстави роботи ДРВ
НКРЗ	так	так	так	ні	так	ні	ні	так
ГЦІ ЗСУ	так	так	так	ні	так	так	так	так
ДІЗ України	ні	ні	ні	ні	ні	так	так	так
Управління радіочастотних присвоєнь	так	так	так	так	так	так	так	ні
Адміністрація зв'язку	ні	ні	ні	ні	так	ні	ні	ні
ITU, СЕРТ	так	ні	так	ні	так	ні	ні	ні
Державні органи частотного регулювання інших країн	ні	ні	так	ні	ні	ні	ні	ні
Юридичні та фізичні особи	ні	ні	так	ні	ні	ні	ні	ні
Користувачі РЧР	так	так	так	ні	ні	ні	так	ні
Органи радіомоніторингу	так	так	так	так	так	так	так	так
Органи виконавчої влади	ні	ні	так	ні	ні	так	так	так

#### 2.4.2 Вимоги до складу

та умови надання інформації радіомоніторингу споживачам

Підставою для отримання НКРЗ даних за результатами радіомоніторингу є те, що відповідно до Закону України "Про радіочастотний ресурс"

функція "контролю за здійсненням радіочастотного моніторингу" відноситься до сфери повноважень НКРЗ.

Для забезпечення ефективного регулювання у сфері користування РЧР України УДЦР за запитом НКРЗ та за результатами аналізу стану використання РЧР і реальної електромагнітної обстановки надає інформацію стосовно інтегральної характеристики електромагнітної обстановки, зайнятості каналів, частот і смуг частот у будь-якому регіоні України. На підставі цієї інформації НКРЗ розробляє пропозиції щодо розподілу та перерозподілу РЧР для забезпечення ефективнішого його використання. Крім того, за запитом НКРЗ УДЦР надає інформацію стосовно технічних параметрів і характеристик випромінювань будь-яких передавачів, які порушують умови дозвільних документів (ліцензій, дозволів на експлуатацію РЕЗ тощо) та незаконно діючих передавачів, зокрема:

1) стосовно ДРВ - інформацію про РЕЗ, параметри та характеристики випромінювань яких не відповідають вимогам дозвільних документів:

- місцезнаходження ДРВ;
- дані про власника передавача (як користувача РЧР);
- зміст порушення (відхилення від нормованого значення частоти, ширини смуги частот, девіації частоти тощо);
- законність (підстави) роботи РЕЗ, ВП (наявність ліцензії, дозволу на експлуатацію, терміни їхньої дії, умови роботи);
- умови виявлення порушення (діапазон частот, час і часовий режим роботи РЕЗ тощо);

2) стосовно незаконно діючих передавачів - інформацію про:

- місцезнаходження ДРВ;
- умови виявлення порушення (діапазон частот, часовий режим роботи РЕЗ тощо).

Вимоги ДІЗ у частині отримання даних від УДЦР обмежуються лише положенням п. 3.2 "Порядку здійснення державного нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України в смугах радіочастотного загального користування" [7], а саме:

- УДЦР направляє матеріали радіочастотного моніторингу до ДІЗ, із висновками щодо порушених норм законодавства, ***„випадку виявлення в ході радіочастотного моніторингу порушень законодавства про РЧР”*** (виділено авторами);

- УДЦР ***„надає результати радіочастотного моніторингу***, необхідні для проведення планових, позапланових, у тому числі, цільових інспекційних перевірок конкретних користувачів РЧР, та іншу інформацію щодо здійснення радіочастотного моніторингу" ***за запитом ДІЗ.***

Вимоги щодо переліку (обсягів) інформації, яка надається до ДІЗ, і точності вимірювання параметрів радіовипромінювання на даний час жодним документом не визначені. на практиці, склад цієї інформації обмежується:

1) стосовно ДРВ, параметри та характеристики яких не відповідають вимогам дозвільних документів, інформацією про:

- місцезнаходження ДРВ;
  - власника передавача (як користувача РЧР);
  - зміст порушення (відхилення від нормованого значення частоти, ширини смуги частот, девіації частоти тощо);
  - підстави роботи РЕЗ, ВП (наявність ліцензії, дозволу на експлуатацію, терміни їхньої дії, умови роботи);
  - умови виявлення порушення (діапазон частот, часовий режим роботи РЕЗ тощо);
- 2) стосовно незаконно діючих передавачів інформацією про:
- місцезнаходження передавача;
  - умови виявлення порушення (діапазон частот, часовий режим роботи РЕЗ ТОЩО).

З метою забезпечення ефективного користування РЧР України в інтересах усіх категорій користувачів і захисту інтересів держави взаємодія між УДЦР та ГШ ЗС України в зазначеній сфері реалізується на підставі Угоди про співробітництво. За запитом ГШ ЗС України УДЦР здійснює заходи та надає інформацію за результатами моніторингу спектра у смугах частот загального та спеціального користування і технічного радіоконтролю.

Як зазначено вище, нині функції Адміністрації зв'язку в Україні покладені на Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку, представлений Державним департаментом зв'язку та інформатизації України у складі Міністерства транспорту та зв'язку України. Необхідною інформацією для забезпечення вирішення завдань, визначених ст. 11 Закону України "Про радіочастотний ресурс України", є оцінка реального стану використання РЧР, зокрема, інтегральні оцінки довготривалої зайнятості каналів, частот і смуг частот, ступінь використання смуг частот окремими радіотехнологіями, системами, стандартами радіозв'язку, а також результати оцінювання ЕМС РЕЗ різних радіотехнологій.

Правові засади надання інформації за результатами радіомоніторингу з боку державних органів частотного регулювання інших країн ґрунтуються на застосуванні положень Статуту, Конвенції МСЕ, Регламенту радіозв'язку щодо створення з боку Адміністрацій зв'язку всіх країн-членів МСЕ прийнятних умов для беззавадової роботи РЕЗ інших держав і регулюються двосторонніми та багатосторонніми угодами про співробітництво між Адміністраціями зв'язку (державними регуляторними органами у сфері користування РЧР) сусідніх країн. ці умови реалізуються шляхом запиту та отримання інформації щодо рівнів напруженості електромагнітного поля у певних діапазонах (смугах) частот у прикордонних районах із метою виявлення причин появи шкідливих радіозавад для роботи РЕЗ із території іншої держави. Крім того, в ряді випадків може вимагатися інформація стосовно місцезнаходження та технічних параметрів РЕЗ (зокрема, висота підвісу антени, потужність передавача, присвоєна частота, ширина смуги частот тощо).



Вимоги МСЕ та СЕРТ стосовно даних радіомоніторингу обмежуються такою інформацією:

- наявність радіовипромінювань, їхня частота, напруженість електромагнітного поля - за запитами цих організацій;
- інтегральні оцінки зайнятості окремих діапазонів (смуг) радіочастот для проведення аналізу та складення висновків стосовно реального стану використання РЧР застарілими радіотехнологіями, системами та стандартами радіозв'язку, розвитку та впровадження нових радіотехнологій.

Стосовно вирішення першого питання органи радіомоніторингу залучаються до визначення:

- наявності, рівнів і оцінки проходження сигналів під час проведення ними моніторингових компаній (як правило, в діапазоні КХ);
- результатів експериментальних досліджень моделей розповсюдження радіохвиль;
- рівнів атмосферних шумів тощо.

Вимоги органів виконавчої влади до даних радіомоніторингу стосуються:

- інформації про рівні неіонізуючих випромінювань у певних місцях;
- адміністративних даних щодо ДРВ, умови експлуатації яких не відповідають вимогам дозвільних документів (ліцензій, дозволів на експлуатацію тощо), а також незаконно діючих передавачів.

Вимоги органів виконавчої влади, юридичних і фізичних осіб стосовно отримання інформації про рівні неіонізуючих випромінювань стосуються прийняття відповідних рішень щодо безпеки радіовипромінювань для життя та діяльності людей. Правовими підставами отримання органами виконавчої влади, юридичними та фізичними особами інформації про рівні неіонізуючих випромінювань є Закони України "Про радіочастотний ресурс України" і "Про звернення громадян" [б, 3б].

Вимоги органів виконавчої влади стосовно отримання зазначених вище даних про ДРВ, умови експлуатації яких не відповідають вимогам дозвільних документів, і незаконно діючих передавачів базуються на застосуванні положень СТ.145 і 146 Кодексу України про адміністративні правопорушення [38].

Взаємовідносини УДЦР, як органа регулювання у сфері користування РЧР, і користувачами РЧР регулюються Законом України "Про радіочастотний ресурс України" [б] і визначаються умовами договорів на роботи з технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання та забезпечення ЕМС РЕЗ, які укладаються між зазначеними сторонами.

При цьому виконавець робіт (УДЦР) повинен:

- здійснювати технічний радіоконтроль у смугах частот, що використовує замовник (користувач РЧР), з метою забезпечення ЕМС РЕЗ замовника з РЕЗ інших користувачів;
- інформувати замовника про радіозавади, що виникають з його вини, та вживати заходи щодо усунення дії радіозавад;
- виявляти в наданій замовнику (користувачу РЧР) смузі частот радіо-

завади та їхні джерела й усувати причину дії цих радіозавад;

- за заявами замовника забезпечувати виявлення джерел радіозавад, які впливають на РЕЗ замовника (користувача РЧР), та припинення їхньої дії.

Крім того, УДЦР може надавати окрему інформацію за запитом користувача РЧР у визначеному УДЦР форматі.

Одним з основних споживачів інформації радіомоніторингу є управління радіочастотних присвоєнь (УРЧП) УДЦР.

Для забезпечення ефективного планування використання РЧР України (розрахунків ЕМС) необхідна інформація стосовно:

1) реального стану використання РЧР (стану електромагнітної обстановки) у певних місцях і регіонах України та на певних смугах частот;

2) відповідності технічних параметрів і характеристик радіовипромінювань певних РЕЗ вимогам ліцензій і дозволів на експлуатацію;

3) виявлених за результатами радіомоніторингу ДРВ, технічні параметри та характеристики яких не відповідають вимогам наданих дозвільних документів;

4) адміністративних даних щодо незаконно діючих передавачів, виявлених за результатами радіомоніторингу, зокрема, про їхніх власників (як користувачів РЧР).

Найбільшим споживачем інформації, яка отримується під час проведення моніторингу спектра та технічного радіоконтролю, є сама СРЧМ. Крім задоволення визначених раніше потреб споживачів інформації радіомоніторингу, СРЧМ безпосередньо використовує деякі види інформації для вирішення власних завдань, відповідно до положень Регламенту радіозв'язку [4], Рекомендацій МСЕ [12, 13, 177], Закону України "Про радіочастотний ресурс України" [6], інших підзаконних актів.

Для вирішення визначених завдань СРЧМ щодо спостереження за використанням смуг частот і вимірювання зайнятості частотних каналів, контролю випромінювань на предмет відповідності умовам присвоєння частот, вивчення випадків виникнення радіозавад, розпізнавання та припинення дії несанкціонованих випромінювань станції радіомоніторингу повинні виявляти й розпізнавати ДРВ, забезпечувати їхнє пеленгування та вимірювати основні параметри радіовипромінювань.

Крім того, в залежності від завдань, поставлених для кожної окремої національної СРЧМ, на станції радіомоніторингу можуть покладатися завдання щодо вимірювання напруженості електромагнітного поля вздовж маршруту (для мобільних комплексів радіомоніторингу), вимірювання параметрів телевізійних відеосигналів, вимірювання параметрів цифрових мереж, вимірювання параметрів супутникових сигналів і фіксованих ліній радіозв'язку тощо. Крім того, для окремих видів сигналів (окремих радіослужб) можуть вимірюватися спеціальні параметри, наприклад, рознесення між частотою сигналу зображення та звуку для телевізійних сигналів, доплерівський зсув частоти випромінювання супутникових систем і проводиться розрахунки відношень рівнів сигнал/шум, сигнал/завада тощо.

### Розділ 3

## НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР УКРАЇНИ

### 3.1 Правові засади діяльності у сфері користування РЧР України

Згідно зі ст. 92 Конституції України "Виключно Законами України визначаються засади використання природних ресурсів, ... , організації та експлуатації енергосистем, транспорту і зв'язку" [21].

Правове регулювання у сфері телекомунікацій та користування РЧР України регламентується Законами України "Про телекомунікації" [17] та "Про радіочастотний ресурс України" [6], Постановами КМУ та іншими нормативно-правовими актами.

Крім цього, оскільки Україна є членом МСЄ і ратифікувала його Статут [22] і Конвенцію [23], то цим самим узяла на себе зобов'язання:

- застосовувати в країні положення Статуту й Конвенції МСЄ;
- прийняти відповідні національні законодавчі акти, в які обов'язково повинні бути включені основні положення міжнародних договорів.

Відповідно до ст.9 Закону України "Про радіочастотний ресурс України" державне управління у сфері користування РЧР здійснюють КМУ та центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку. Їхні повноваження в цій сфері розкриті в розділі 2.

Відповідно до ст. 17 Закону України "Про телекомунікації" та ст. 12 Закону України "Про радіочастотний ресурс України" органом регулювання у сферах телекомунікацій та користування РЧР України є НКРЗ. Завдання та повноваження НКРЗ у сфері користування РЧР визначені також Положенням про Національну комісію з питань регулювання зв'язку України [24].

У 2005 р. НКРЗ розробила та зареєструвала в Міністерстві юстиції України "Ліцензійні умови користування радіочастотним ресурсом України" [25]. З цього часу відновилося видавання ліцензій на користування РЧР України. До прийняття в 2004 р. Закону України „Про радіочастотний ресурс України“, ліцензії на користування РЧР повинні були отримувати всі користувачі, в тому числі, й технологічні. За новою редакцією зазначеного Закону ліцензії надаються тільки тим суб'єктам господарської діяльності, які використовують РЧР для надання послуг. Суб'єкти господарювання, які використовують РЧР у технологічних цілях, отримують в УДЦР тільки дозвіл на експлуатацію РЕЗ.

Оскільки РЧР України обмежений і у зв'язку з упровадженням в Україні нових радіотехнологій вільний частотний ресурс майже вичерпаний. то одним із завдань НКРЗ є удосконалення процесу ліцензування РЧР і видачі

ліцензій на конкурсній основі відповідно до Закону України „про ліцензування певних видів господарської діяльності” [26]. Правове регулювання у сфері ліцензування РЧР обумовлене ст. 31-40 Закону України "про радіочастотний ресурс України" та документами:

- Ліцензійні умови здійснення діяльності у сфері телекомунікацій з надання послуг рухомого (мобільного) телефонного зв'язку з правом технічного обслуговування та експлуатації телекомунікаційних мереж і надання в користування каналів електрозв'язку [27];

- Ліцензійні умови здійснення діяльності у сфері телекомунікацій з надання в користування каналів електрозв'язку [28];

- Ліцензійні умови здійснення діяльності у сфері телекомунікацій з надання послуг з технічного обслуговування і експлуатації телекомунікаційних мереж, мереж ефірного теле- та радіомовлення, проводового радіомовлення та телемереж [29];

- Положення про проведення конкурсів або тендерів на отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України [30];

- Постанова КМУ "Про розміри плати за видачу, продовження строку дії, переоформлення, видачу дублікатів ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України" [31].

Стосовно державного управління та користування РЧР України, окрім положень Закону України "Про радіочастотний ресурс України", основними керівними є такі документи:

- Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України [18];

- План використання радіочастотного ресурсу України [19];

- Положення про порядок і форму ведення реєстру радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, що можуть застосовуватися на території України в смугах радіочастот загального користування [32];

- Положення про надання висновків щодо електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів [33];

- Технічний регламент з підтвердження відповідності електромагнітної сумісності [34];

- стандарти та інші нормативні документи, зокрема, відповідно до "Переліку стандартів і норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби, що можуть застосовуватися в Україні" [35].

При цьому для вирішення організаційно-технічних заходів стосовно планування й використання РЧР та впровадження нових радіотехнологій застосовуються також положення Регламенту радіозв'язку [4] і Рекомендації ІТУ-Р.

Здійснення державного нагляду за ринком телекомунікацій та ефективним користуванням РЧР на території України відповідно до ст. 19 Закону України "Про телекомунікації" та ст. 15 Закону України "Про радіочастотний ресурс України" є функцією ДІЗ.

У своїй діяльності ДІЗ тісно співпрацює з УДЦР і керується ст. 7, 8, 14 і 20 Закону України "Про звернення громадян" [36], Законом України „про

Митний тариф України" [37], ст. 145, 146 і 188-7 "Кодексу України про адміністративні правопорушення" [38], Постановами КМУ, рішеннями й розпорядженнями НКРЗ та іншими нормативно-правовими актами, зокрема:

- Положення про Державну інспекцію зв'язку [39];
- Порядок здійснення державного нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України в смугах радіочастот загального користування [7];
- Про участь Українського державного центру радіочастот у здійсненні нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України [40, 41];
- Про здійснення вимірювання параметрів телекомунікаційних мереж загального користування [42, 43].

Проведення радіомоніторингу використання РЧР України та здійснення заходів щодо забезпечення ЕМС РЕЗ і ВП ст. 16 Закону України "Про радіочастотний ресурс України" покладено на УДЦР, який у цій сфері, керується Постановами КМУ [18, 19, 31], нормативно-правовими актами НКРЗ [7, 30, 32,33,40--43] та іншими документами, зокрема, [4,34, 35].

Взаємини УДЦР із ДІЗ стосовно діяльності у сфері проведення радіомоніторингу використання РЧР України та здійснення заходів щодо забезпечення ЕМС РЕЗ і ВП визначені Порядком [7], згідно з яким:

1) УДЦР може залучатися за дорученням НКРЗ для участі в здійсненні заходів державного нагляду за користуванням РЧР;

2) під час проведення планових, позапланових (у тому числі, цільових) перевірок ураховуються результати радіомоніторингу;

3) у випадку виявлення під час здійснення моніторингу РЧС або технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювань порушень законодавства про РЧР УДЦР направляє матеріали радіомоніторингу та технічного радіоконтролю до ДІЗ із висновками щодо порушених норм законодавства;

4) УДЦР на запит ДІЗ надає результати радіомоніторингу та технічного радіоконтролю, необхідні для проведення планових, позапланових (у тому числі, цільових) перевірок конкретних користувачів РЧР, іншу інформацію за результатами радіомоніторингу.

Згідно з "Концепцією розвитку телекомунікацій в Україні до 2010 року" основні завдання з використання РЧР та забезпечення ЕМС РЕЗ такі [44]:

1) приведення Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України у відповідність з вимогами ІТУ і СЕРТ з урахуванням особливостей користування РЧР України;

2) розроблення програм забезпечення ефективного використання РЧР;

3) проведення першочергових робіт із забезпечення ефективного використання РЧР;

4) підготовка пропозицій щодо оптимального розподілу та виділення смуг частот на перспективні радіотехнології.

### **3.2 Нормування частоти радіовипромінювання РЕЗ**

Вимірювання частоти радіовипромінювання РЕЗ виконується з метою

Визначення її стабільності та рівня відхилення, щоб упевнитися в тому, що значення цих параметрів не перевищують нормативні і відповідають основній вимозі міжнародного Регламенту радіозв'язку щодо допустимого відхилення частоти випромінювання передавачів РЕЗ усіх призначень, яка сформульована таким чином: *відхилення середньої частоти смуги частот випромінювання від присвоєної частоти (або характерної частоти від відносної частоти) не повинні перевищувати нормативного значення [4].*

В Україні контроль за частотою випромінювання РЕЗ проводиться під час проведення моніторингу радіочастотного спектра й технічного радіоконтролю з метою перевірки виконання нормативних вимог щодо допустимих відхилень частоти передавачів, виражених у мільйонних долях або в герцах. При цьому відхилення робочої частоти передавачів РЕЗ усіх категорій і призначень не повинні перевищувати значень, обумовлених у таких нормативних документах:

- 1) Регламент радіозв'язку - у смузі частот від 9 кГц до 40 ГГц [4];
- 2) ГОСТ 30338 - у смузі частот від 9 кГц до 40 ГГц [45];
- 3) Рекомендація ITU-R SM.1 045 - У смузі від 9 кГц до 275 ГГц [46];
- 4) стандарти на окремі види РЕЗ та радіотехнології - в їхніх робочих смугах частот;

5) технічні умови на певні РЕЗ - у робочих смугах частот цих РЕЗ. Аналіз значень допустимих відхилень частоти, наведених у Регламенті радіозв'язку, ГОСТ 30338 та в Рекомендації ITU-R SM.1045, дозволяє зробити такі висновки:

1) найжорсткішими є вимоги встановлені ГОСТ 30338, зокрема, для радіопередавачів широкосмугових систем і радіопередавачів, які використовують один канал на несучій частоті, космічних і земних станцій;

2) відповідно до Рекомендації ITU-R SM.1045 вимоги до значень допустимих відхилень частоти жорсткіші для РЕЗ, що проектуються.

Оскільки вимоги до деяких параметрів РЕЗ нових радіотехнологій досить специфічні і потребують значень допустимих відхилень частоти жорсткіших, ніж у зазначених нормативних документах, то вони можуть регламентуватися стандартами на ці радіотехнології. В даному випадку типовим прикладом може бути обладнання широкосмугового радіодоступу для безпроводового передавання даних, вимоги до нестабільності частоти передавачів якого наведені в табл. 3.1 [47-52].

У стандартах на окремі види РЕЗ можуть наводитися деякі додаткові вимоги до нестабільності робочої частоти, наприклад базовий стандарт для передавачів діапазонів НЧ, СЧ, ВЧ та ДВЧ ГОСТ 13924 регламентує також допустиме відхилення робочої частоти передавача від номінального значення протягом місяця [53].

В технічних умовах вимоги стосовно допустимих відхилень робочої частоти передавачів РЕЗ:

- 1) вказуються в разі їхньої відсутності в чинних нормативних документах;

2) можуть відрізнятися від установлених у нормативних документах лише у випадках, коли потрібно конкретизувати, доповнити або підвищити вимоги чинних нормативних документів на продукцію.

Таблиця 3.1 - Допустима нестабільність частоти передавачів РЕЗ широкосмугового радіодоступу для безпроводового передавання даних

Стандарт	Нестабільність частоти, не більше
IEEE 802.11	$\pm 60$ кГц
IEEE 802.11a	$\pm 20 \times 10^{-6}$
IEEE 802.11b/g	$\pm 25 \times 10^{-6}$
IEEE 802.15.4	$\pm 75$ кГц
IEEE 802.16	<p>Для базових станцій:</p> <p>1) у смузі частот від 2 ГГц до 11 ГГц:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- у режимах окремої несучої частоти (SCa) і ортогонального частотного ущільнення (OFDM) – <math>\pm 8 \times 10^{-6}</math></li> <li>- у режимі множинного доступу з ортогональним частотним ущільненням (OFDMA) – <math>\pm 2 \times 10^{-6}</math></li> </ul> <p>2) у смузі частот від 10 ГГц до 66 ГГц – <math>\pm 8 \times 10^{-6}</math></p> <p>Для абонентських станцій:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- у режимі окремої несучої частоти (SCa) – <math>\pm 15 \times 10^{-6}</math></li> <li>- у режимі ортогонального частотного ущільнення (OFDM) – 2 % від значення частотного рознесення піднесучих частот</li> <li>- у режимі множинного доступу з ортогональним частотним ущільненням (OFDMA) – 2 % від значення частотного рознесення піднесучих частот</li> </ul>

Відповідно до ГОСТ 30338 контроль за відхиленнями частоти передавачів від номінальних значень потрібно проводити з урахуванням впливу на РЕЗ усіх дестабілізуючих чинників (кліматичних, коливання рівня напруги й частоти електроживлення тощо), при цьому вимірювання частоти необхідно виконати не менше 10 разів підряд і визначити за їхніми результатами середнє арифметичне значення  $\Delta f$  різниці між виміряними  $f_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) і присвоєним (номінальним)  $f_n$  значеннями частоти за формулою

$$\Delta f = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n |f_i - f_n| \right]. \quad (3.1)$$

Передавач, частота якого контролювалася, відповідає вимогам щодо допустимого відхилення частоти, якщо

$$\frac{\Delta f}{f_n} \leq N, \quad (3.2)$$

або

$$\Delta f \leq N_1, \quad (3.3)$$

де  $N_f$  – відхилення частоти, виражене в герцах;  $N$  - відносне відхилення частоти, виражене в мільйонних частках ( $\pm N \times 10^{-6}$ ).

Одиницю виміру відхилення частоти в герцах зазвичай застосовують для радіопередавачів, які працюють на частотах до 1 ГГц.

### **3.3 Нормування напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності**

Нині в Україні відсутні нормативно-правові документи, що безпосередньо стосуються вимірювань напруженості поля електромагнітного випромінювання і густини потоку потужності внаслідок їхньої специфічності. Практично єдиними джерелами інформації в цій сфері, які більш-менш можна віднести до нормативних, є Рекомендації та звіти ІТУ-Р, які не обов'язкові до виконання і носять рекомендаційний характер.

Рекомендації та настанови стосовно вимірювання напруженості електромагнітного поля, а також значення максимальних похибок у діапазонах частот до 30 МГц та понад 30 МГц для станцій міжнародного радіоконтролю, яких потрібно прагнути під час проведення вимірювання, зазначені в Рекомендації ІТУ-Р SM.378 [54].

Для оцінювання впливу рельєфу місцевості на виміри рекомендується використовувати наближені формули, що наведені в звітах міжнародного консультативного комітету з радіо (МККР. з 1992 р. МСЕ-Р) [55].

За потреби оцінювання просторового розподілу (просторової залежності) напруженості поля електромагнітного випромінювання необхідно користуватися Рекомендаціями ІТУ-Р Р.1546 і Р.845, де наведені методи визначення функції розподілу для зони, що знаходиться на певній відстані від радіопередавача, за наявності достатньої кількості вибірок, якщо відомі середнє значення напруженості поля (середньоарифметичне значення вибірок) і значення стандартного відхилення за місцезнаходженням [56, 57].

За потреби оцінювання часового розподілу напруженості поля (часової залежності) електромагнітного випромінювання необхідно також користуватися Рекомендаціями ІТУ-Р Р. 1546 і Р.845, де наведені методи визначення функції розподілу для відносно тривалого періоду часу за наявності достатньої кількості вибірок, якщо відомі середнє значення напруженості поля (середньоарифметичне значення вибірок) і значення стандартного відхилення з часом.

Рекомендації стосовно прогнозування і моделювання поширення радіохвиль наведені у звіті ІТУ-Р BS.516 [58] та Рекомендації ІТУ-Р Р.529 [59].

Настанови щодо вимірювання рівнів радіошумів, у тому числі, індустрійних, зазначені в Рекомендації ІТУ-Р Р.372 [60].

### **3.4 Нормування ширини смуги частот і позасмугових випромінювань**

Основними чинними в Україні нормативними документами, які регла-



ментують проведення радіоконтролю ширини займаної смуги частот радіовипромінювання на РКП, є ГОСТ 30318 [61] (у діапазоні частот від 10 кГц до 37,5 ГГц), Норми 19 [62] (у діапазоні частот понад 37,5 ГГц) і міжнародний Регламент радіозв'язку. Відповідно до положень цих документів радіоконтроль смуги частот РЕЗ або ВП необхідно здійснювати шляхом оцінювання ширини його займаної смуги частот і подальшого порівнювання її значення з нормативним значенням ширини необхідної смуги частот для класу радіовипромінювання, яке контролюється. Оскільки ширина займаної смуги частот більшості радіосигналів змінюється відповідно до їхньої модуляції, то на РКП потрібно старатися виміряти саме її максимальне значення.

*Займана смуга частот* радіовипромінювання визначається смугою частот, за межами якої випромінюється не більше ніж задана частина  $\beta$  від загальної потужності РЕЗ [4].

*Необхідною смугою частот* для певного класу радіовипромінювання називається мінімальна смуга частот, яка достатня для забезпечення передавання інформації зі швидкістю та якістю, потрібними для заданих умов [4].

За цим визначенням очевидно, що ширина необхідної смуги частот радіовипромінювання є розрахунковою величиною, яка в значній мірі залежить від параметрів не тільки самого випромінювання, але і РПП, який ці випромінювання приймає, в сукупності з декодером - кінцевим пристроєм розшифрування сигналу. Тому ширина необхідної смуги частот є системною характеристикою всього тракту передавання модульованого радіосигналу. В той же час, сама ширина необхідної смуги частот ніяк не проявляється на спектрі радіосигналу, тому принципово не може бути виміряна шляхом спектрального аналізу цього сигналу. Вимоги до ширини необхідної смуги частот для багатьох класів радіовипромінювання, зокрема, для цифрових та імпульсних систем передавання, сформульовані як у Рекомендаціях ITU-R SM.853 [63], SM.1138 [64] та інших Рекомендаціях ITU-R, так і в чинних національних стандартах. При цьому числові значення ширини необхідної смуги частот визначаються за формулами, наведеними, зокрема, в ГОСТ 30318, Нормах 19, Регламенті радіозв'язку, звіті МККР № 836 [65], Рекомендаціях ITU-R SM.853 і SM.1138 тощо, відповідно до параметрів модуляції певного типу передавача, значення яких указуються в технічних умовах на цей передавач.

У процесі визначення займаної смуги частот вважається, що в ній зосереджено  $(100 - \beta)$  % усієї потужності, що випромінюється антеною РЕЗ, а за верхньою та нижньою границями зосереджено по  $0,5 \beta$  % потужності (рис. 3.1, а). При цьому загалом вважають, що  $\beta = 1$  % від загальної потужності випромінювання, але в залежності від виду випромінювання значення  $\beta$  можуть бути й іншими [4].

Наприклад, для розрахунку ширини необхідної смуги частот для радіосигналу з гаусівською маніпуляцією з мінімальним частотним зсувом (GMSK) Рекомендація ITU-R SM.853 пропонує застосовувати формулу

$$B_n = R + 2DK = 2(M + DK) \quad (3.4)$$

де  $R = 2M$  - швидкість передавання даних (біт/с).

Фактично вираз (3.4) - це загальновідома формула Карсона [66], в якій коефіцієнт  $K$  підібраний таким чином, що знаходиться в межах від мінус 0,28 до + 0,18 для того, щоб забезпечити "необхідну швидкість та задану якість", що залежать від того, яка частина потужності випромінювання попадає в необхідну смугу частот  $B_n$ . Згідно з [63] для  $K = - 0,28$  значення  $\beta$  становить 1%, а для  $K = 0,18$  значення  $\beta$  дорівнює 0,1%.

Якщо виміряні значення ширини смуги частот не перевищують нормативного значення ширини необхідної смуги частот для даного РЕЗ, то можна вважати, що параметри випромінювання передавача відповідають нормативним вимогам щодо ширини займаної смуги частот (рис. 3.1, а, б).

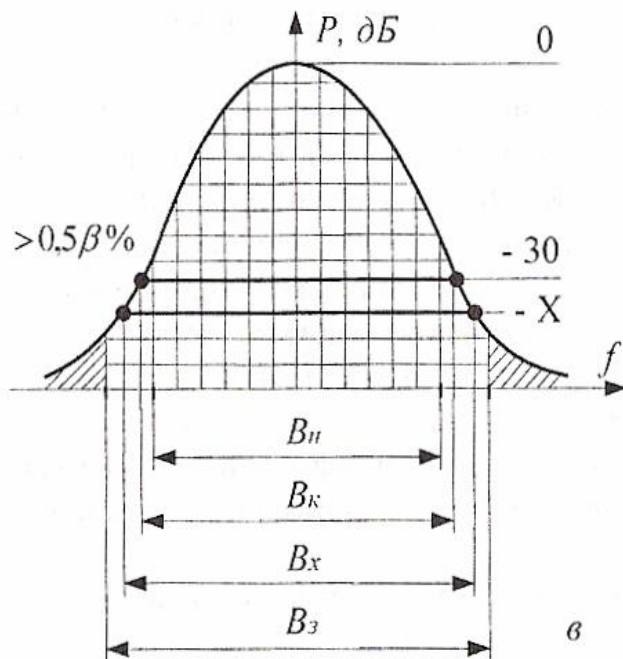
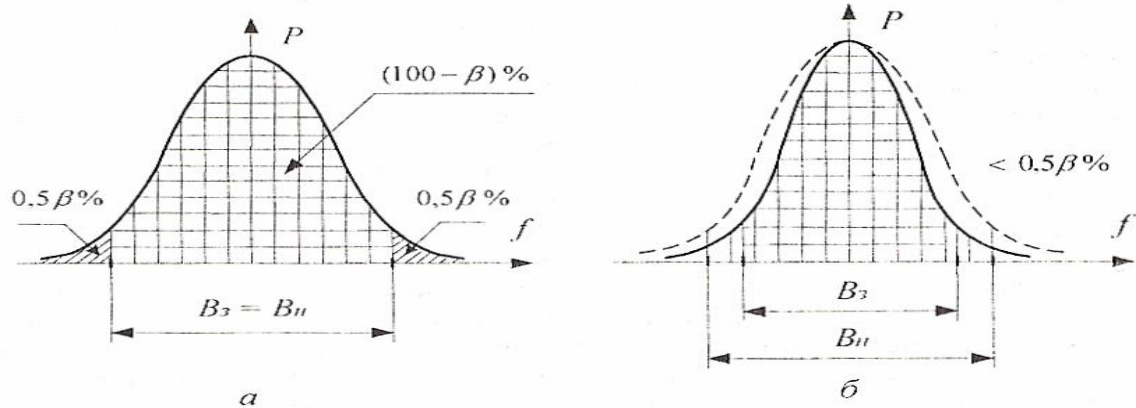


Рис. 3.1. Типи випромінювань:  
 а – досконале;  
 б – вузьке;  
 в – недосконале

Рис.3.1 Типи випромінювань  
 а-досконале  
 б-вузьке  
 в-недосконале

Нині вимірювання ширини смуги частот базується на застосуванні двох основних методів: за критерієм  $X$  дБ і за критерієм відношення потужностей (див. підрозділ 4.3), так званим " $\beta/2$ - методом".

За визначенням ДСТУ 3254 "Ширина смуги частот радіовипромінювання на рівні  $X$  дБ - це ширина смуги частот, за межами якої будь-який

спектральний складник має послаблення на  $X$  дБ і більше відносно рівня випромінювання, прийнятого за 0 дБ" [67]. В разі проведення вимірювання методом за критерієм  $X$  дБ вимірюваними параметрами є значення ширини  $B''$  контрольної смуги частот випромінювання РЕЗ (на рівні мінус 30 дБ) і значення ширини  $B_x$  смуг випромінювання РЕЗ на рівнях  $X$  дБ, де  $X$  може приймати нормовані значення мінус 40, мінус 50 і мінус 60 (рис. 3.1, В).

Ширина контрольної смуги частот визначається як ширина смуги частот, за верхньою та нижньою межами якої будь-який спектральний складник має послаблення на 30 дБ і більше відносно рівня випромінювання, прийнятого за 0 дБ. Рівень мінус 30 дБ був вибраний у зв'язку з тим, що зчитані на цьому рівні значення ширини контрольної смуги частот близькі до відповідних значень ширини необхідної смуги. Найчастіше значення норми контрольної смуги дорівнює або на (10 - 20) % більше ширини необхідної смуги частот (див. Додаток А). При цьому відповідність між значеннями ширини контрольної та необхідної смуг частот виконується лише для випробувальних сигналів, визначених для кожного класу радіовипромінювання, а також за умови встановлення нульового рівня відліку згідно з чинними нормативами. Проведені в останні роки дослідження показали, що ця закономірність зберігається і для нових цифрових класів радіовипромінювання з частотним, часовим і кодовим ущільненням, за винятком радіолокаційних засобів, для яких через особливість використовуваних імпульсних випромінювань приблизна рівність значень ширини контрольної та необхідної смуг частот спостерігається на рівні мінус 40 дБ [68]. Необхідно відмітити, що за відомим значенням ширини контрольної смуги радіочастот для певного класу радіовипромінювання завжди можна, виходячи з відомих стандартних параметрів модуляції, за формулами обрахувати значення ширини необхідної смуги частот, допустиме значення швидкості передавання, а також - значення ширини смуги випромінювання на рівні мінус 60 дБ, у разі, якщо для окремих класів радіовипромінювання і специфічних РЕЗ її вимірювання утруднене. Сукупність таких даних дозволяє з достатньою точністю визначати параметри даного радіовипромінювання, а значить, вирішувати завдання регулювання у сфері користування РЧР, забезпечення ЕМС РЕЗ і ВП тощо.

Всі випромінювання РЕЗ за межами необхідної смуги частот відносять до небажаних. Шляхи їхнього поширення різноманітні: через антенно-фідерний тракт, кабелі, з'єднувачі та монтажні дроти, кола електроживлення, вентиляційні отвори в кожухах радіообладнання тощо. Причини, які викликають появу небажаних випромінювань, різні. Деякі їхні складники зумовлені процесом модуляції випромінюваного сигналу, інші - нелінійними ефектами в окремих каскадах РЕЗ.

Згідно з визначенням, наведеним у Регламенті радіозв'язку, позасмуговими випромінюваннями називають усі небажані радіовипромінювання на частоті або на частотах, які безпосередньо примикають до необхідної смуги радіочастот і є наслідком процесу модуляції, але не включають до себе побічних випромінювань. Уточнення щодо побічних випромінювань підкрес-

лює різницю між позасмуговими та побічними випромінюваннями, яка полягає в тому, що якщо з випромінювання вирізати позасмугові випромінювання, то це призведе до погіршення якості інформації, що передається. В той же час, позасмугові випромінювання не використовуються для передавання корисної інформації і являються лише джерелами взаємних завад. У Рекомендаціях ITU-R SM.328 [66] наведені описи кривих, які обмежують позасмуговий спектр для різних класів радіовипромінювання. Смуги частот, які зумовлені позасмуговими й побічними випромінюваннями, можуть перекриватися, тому в останньому виданні Рекомендації ITU-R SM.329 наведені визначення для позасмугової та побічної ділянок радіовипромінювання [69].

Позасмугова ділянка радіовипромінювання - це смуга частот, в якій зазвичай переважають позасмугові випромінювання і яка безпосередньо примикає до необхідної смуги частот, але не включає ділянку побічних випромінювань.

Побічна ділянка радіовипромінювання - це смуга частот, за межами позасмугової ділянки, в якій зазвичай переважають побічні випромінювання.

Обмеження для побічних випромінювань, а також настанови щодо визначення межі між ділянками позасмугових і побічних випромінювань зазначені Рекомендаціями ITU-R SM.329 і SM.1539 [70]. Відповідно до Регламенту радіозв'язку (Додаток 3) ділянку побічних випромінювань зазвичай складають частоти, віддалені від центральної частоти випромінювання на 250 % ширини необхідної смуги випромінювання і більше (рис. 3.4).

Позасмугові випромінювання зумовлені використанням сигналів із більшою шириною спектра, ніж це необхідно для виконання радіопередавачем своїх цільових функцій (наприклад, імпульсів із надзвичайно крутими фронтами), нелінійністю модуляційної характеристики, амплітудною та фазовою характеристиками радіотракту, застосуванням модулюючих сигналів із надмірною амплітудою та наступним її обмеженням, квантуванням сигналів тощо. В результаті в спектрі випромінюваних радіосигналів з'являються складники, що знаходяться за межами необхідної смуги частот  $B_n$  і не виправдано розширюють смугу частот (рис. 3.1, б), створюючи при цьому завади РЕЗ, які працюють у сусідніх каналах. Позасмугові випромінювання притаманні для РЕЗ практично всіх типів.

На характер позасмугових випромінювань в основному впливають: форма модулюючих сигналів, нелінійність модуляційної характеристики, перемодуляція та обмеження амплітуди сигналу.

Спектр позасмугових випромінювань також суттєво залежить від режиму роботи радіопередавального пристрою, тобто від наявності перемодуляції та амплітудного обмеження сигналу. Застосування цих режимів збільшує завадозахищеність і підвищує розбірливість мовних сигналів, але супроводжується значним розширенням спектра позасмугових випромінювань.

Обвідна спектральної густини потужності позасмугового випромінювання являє собою спадну функцію від значення розстроювання відносно присвоєної частоти, причому, чим більша швидкість її спадання, тим кращий

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР

показник ЕМС РЕЗ. Для оцінювання форми обвідної та швидкості спадання інтенсивності позасмугового випромінювання РЕЗ використовується ширина смуги частот  $B_x$  на рівні мінус  $X$  дБ відносно основного випромінювання, яка практично являється його характеристикою ЕМС. За нижній рівень потужності позасмугового випромінювання приймають потужність, виміряну на рівні мінус 60 дБ. Застосування декількох вимірювальних рівнів (мінус 30 дБ, мінус 40 дБ, мінус 50 дБ тощо) дозволяє контролювати форму сигналу і швидкість спадання інтенсивності його позасмугового випромінювання.

Вимоги до значень ширини смуг частот на рівнях мінус 40 дБ, мінус 50 дБ і мінус 60 дБ для цілого ряду класів радіовипромінювання зазначаються у виді розрахункових формул з урахуванням параметрів модуляції (аналогічно, як для контрольної та необхідної смуг частот). Сукупність розрахованих значень ширини смуги частот на рівнях від мінус 30 дБ до мінус 60 дБ дає можливість побудови нормативної обмежувальної кривої спектра позасмугового випромінювання, яка практично визначає верхню межу максимально допустимих значень його складників (див. рис. 4.9). З іншого боку, вимоги до цих значень можуть бути сформульовані на базі лише обмежувальних кривих (масок) спектра для певних класів радіовипромінювання, наведених, наприклад, у Рекомендаціях ІТУ-Р SM.1541 [71] і SM.328 [66].

Аналогічні маски існують і для цифрових сигналів (див. розділ 7), при цьому в них ураховуються індивідуальні особливості цих сигналів. Приклад такої маски для обвідної спектра усередненого сигналу передавача системи стандарту CDMA наведений на рис. 3.2 [72].

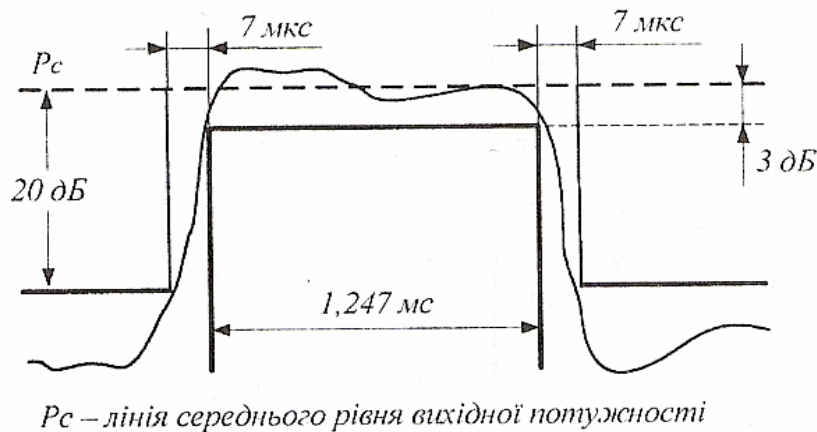


Рис. 3.2. Маска для обвідної спектра усередненого сигналу передавача стандарту CDMA

У процесі проведення радіоконтролю електричних параметрів сигналів у високочастотних колах передавачів рівні позасмугових випромінювань оцінюють, як правило, одночасно з вимірюваннями ширини контрольної смуги частот і в подальшому порівнюють їх із нормативними або з обмежувальними лініями відповідних масок.

### 3.5 Нормування побічних випромінювань

Відповідно до визначення, даного в Регламенті радіозв'язку, радіовипромінювання на частоті або частотах, розташованих за межами необхідної смуги частот, рівень яких може бути зменшений без будь-яких утрат для передавання відповідної інформації, називають побічними. До них відносять випромінювання на гармоніках і субгармоніках, паразитні випромінювання, складники інтермодуляції та продукти частотного перетворення, крім позасмугових випромінювань [4].

Побічні випромінювання РЕЗ найбільш "розтягнуті" в межах частотного діапазону (рис. 3.3) і від їх рівнів та кількості в значній мірі залежить забезпечення ЕМС. В основі появи побічних випромінювань лежать нелінійні процеси, що виникають в окремих вузлах РЕЗ, елементами яких протікають струми ВЧ, наприклад, у трактах формування ВЧ сигналів та в антенно-фідерних трактах радіопередавачів, але вони не пов'язані з процесом модуляції несучих коливань. Частотні складники цього виду випромінювання подібні, але механізм їхнього утворення різний. Інтенсивність побічних радіовипромінювань залежить від діапазону частот, типу та режиму генераторних і підсилюючих пристроїв радіопередавачів тощо. Рівень побічних випромінювань зазвичай виражають відносно основного випромінювання в децибелах і вважають нормально розподіленою випадковою величиною, при цьому нормується тільки верхня межа рівнів.

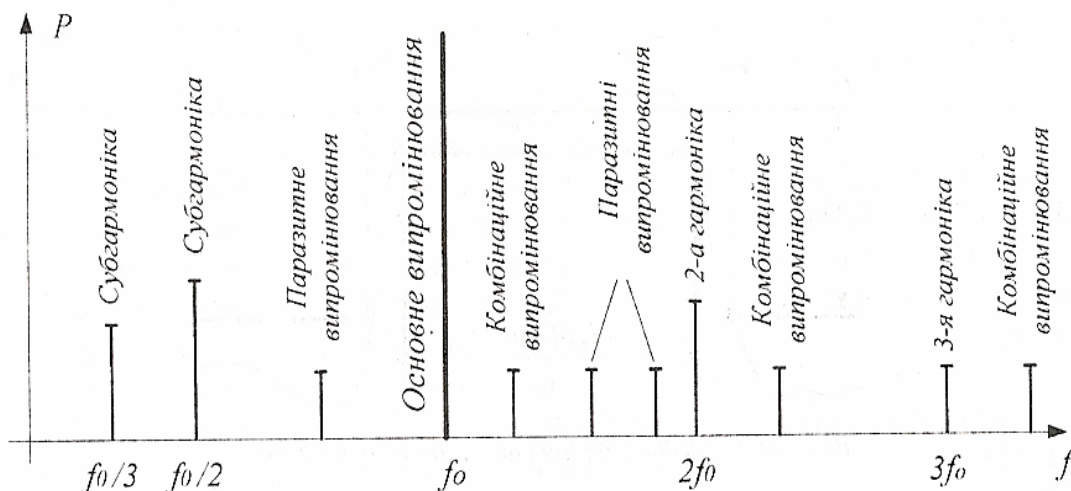


Рис. 3.3. Частотні параметри побічних радіовипромінювань

Побічні випромінювання характеризуються такими параметрами:

- потужність;
- поверхнева густина потоку потужності;
- спектральна густина потужності.

Побічні випромінювання, що супроводжують передане повідомлення, являються одним із найсуттєвіших чинників, що визначають ЕМС, тому їхні

рівні нормуються відповідними нормативними документами та спеціальними рекомендаціями. За нормоване значення потужності побічного випромінювання приймається середня потужність, яка передається від передавача в антенно-фідерний тракт на частоті побічного випромінювання, виражена в абсолютних і відносних одиницях (по відношенню до середньої потужності передавача в межах необхідної смуги частот).

В Україні норми на рівні побічних випромінювань РЕЗ цивільного призначення регламентуються Нормами 18 [73] і Регламентом радіозв'язку в діапазоні частот від 9 кГц до 17,7 ГГц (табл. 3.2), а також - нормативними документами (стандарти, технічні умови тощо) на певні РЕЗ (деякі з них наведені в табл. 3.3 і 8.16). Крім цього, вимоги до граничних рівнів побічних випромінювань для діапазону частот від 9 кГц до 300 ГГц наведені також у Рекомендації ІТУ-R SM.329 та в Рекомендації СЕРТ/ERC/REC 74-01 [74].

Таблиця 3.2 - Граничні нормовані значення рівнів побічних випромінювань

Смуга частот	Середня потужність	Нормовані рівні побічних випромінювань
Від 9 кГц до 235 МГц	До 25 Вт включно	- 40 дБ; 50 мВт
	Понад 25 Вт	- 60 дБ; 1 мВт
Від 235 МГц до 960 МГц	До 25 Вт включно	- 40 дБ; 25 мкВт
	Понад 25 Вт	- 60 дБ; 20 мВт
Від 960 МГц до 17,7 ГГц	До 10 Вт включно	100 мкВт
	Понад 10 Вт	- 50 дБ; 100 мкВт

Нормативні значення повинні виконуватися для будь-якого складника побічних випромінювань РЕЗ.

Вимірювання та контроль на відповідність РЕЗ цим нормам повинні здійснюватися, як правило, безпосередньо у вихідних колах передавача під час його роботи в режимі випромінювання максимальної потужності несучої частоти без модуляції [73, 75].

Зазвичай безперервна робота більшості радіомовних станцій не залишає часу для передавання немодульованої несучої частоти або тестових сигналів із метою вимірювання рівнів побічних випромінювань, крім того, не завжди можливий безпосередній доступ до РЕЗ або він небажаний, тому контроль рівнів побічних випромінювань бажано було б виконувати дистанційно шляхом аналізу випромінювання радіопередавача у звичайному штатному режимі його роботи під час модуляції сигналів.



Нормативні документи, які регламентують методи вимірювання рівнів побічних випромінювань РЕЗ під час проведення моніторингу спектра й технічного радіоконтролю, нині в Україні відсутні і практично єдиними **НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР**

настановами щодо їхнього дистанційного вимірювання можуть бути лише Рекомендація ITU-R SM.329 та Рекомендація СЕРТ/ERC/REC 74-01.

Зокрема, Рекомендація ITU-R SM.329 установлює граничні рівні на побічні випромінювання для різних служб та типів РЕЗ і її положення пропонуються для використання в якості загального керівного документа під час розробки нових нормативних документів та у випадку відсутності відповідних стандартів. Рекомендація пропонує визначати рівні побічних випромінювань на частотах, які знаходяться нижче й вище основної частоти передавання і віддалені від центральної частоти на 250 % ширини необхідної смуги частот  $B_n$  (рис. 3.4).

Таблиця 3.3 - Граничні нормовані значення рівнів побічних випромінювань для деяких РЕЗ

Назва параметра	Значення параметра
Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби	
Рівень побічного випромінювання передавача, не більше у смузі частот: - від 9 кГц до 1 ГГц - від 1 ГГц до 12,75 ГГц	0,25 мкВт 1,00 мкВт
Обладнання безпроводного доступу стандарту IEEE 802.11b [49]	
Рівень побічного випромінювання, не більше: - у смузі частот від 30 МГц до 1 ГГц у робочому режимі - у смузі частот від 30 МГц до 1 ГГц у черговому режимі - у смузі частот від 1 ГГц до 12,75 ГГц у робочому режимі - У смузі частот від 1 ГГц до 12,75 ГГц у черговому режимі - у смузі частот від 1,8 ГГц до 1,9 ГГц у робочому і черговому режимі - у смузі частот від 5,15 ГГц до 5,3 ГГц у робочому і черговому режимі	-36 дБц -57 дБц - 30 дБц -47 дБц -47 дБц -47дБц

Однак це частотне рознесення може залежати від типу модуляції, що використовується, значення максимальної швидкості передавання у випадку цифрової модуляції, типу передавача тощо. Наприклад, для сигналів із цифровою модуляцією (включаючи цифрове радіомовлення), широкосмугових систем, імпульсної системи модуляції та для вузькосмугових потужних радіопередавачів за цією Рекомендацією допускається визначення границь частоти побічних випромінювань, відмінне від значення  $\pm 250$  % ширини необхідної смуги частот від центральної частоти випромінювання. В той же час у Рекомендації відмічається, що значення  $\pm 250$  % прийнятне лише для



середньосмугових систем, а для вузькосмугових і широкосмугових систем може розглядатися, як тимчасове через фізичні обмеження можливості частотної фільтрації у вузькосмугових системах і можливі „забруднення” частини спектра широкосмугових систем. Крім цього, деякі служби можуть приймати певні уточнення стосовно значення  $\pm 250\%$ , наприклад, Рекомендація ITU-R F.1191 пропонує, щоб для цифрових радіорелейних систем, які працюють у рамках конкретного плану радіочастотних каналів, межі частот між побічними і позасмуговими випромінюваннями складали  $\pm 250\%$  відповідного рознесення каналів [76].

Контрольні (еталонні) смуги частот ( $\Delta f$  на рис. 3.4), в яких повинні вимірюватися рівні побічних випромінювань, залежно від діапазонів частот, в яких контролюються ці випромінювання ( $F_a, F_b, F_c, F_d$  на рис. 3.4), зазначені в Нормх 18 та Рекомендації ITU-R SM.329 і наведені в табл. 3.4.

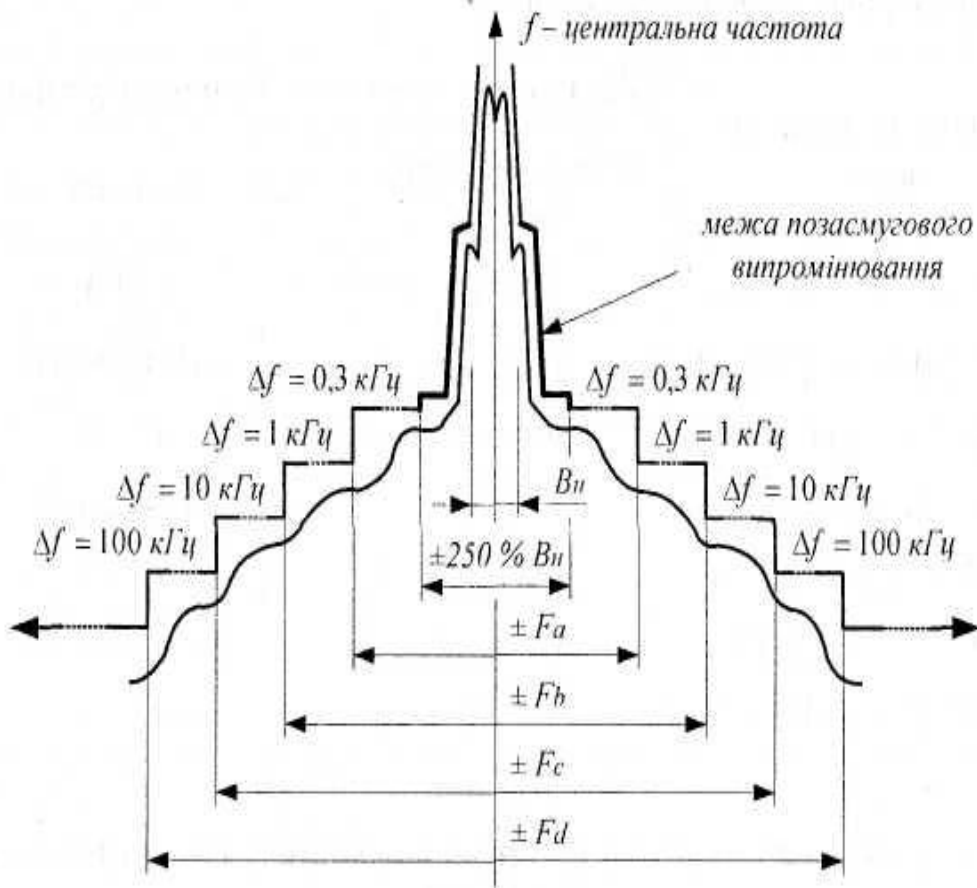


Рис. 3.4. Маска граничних значень побічних випромінювань для РЕЗ фіксованої служби

В Рекомендації ITU-R SM.329 наведені граничні значення побічних випромінювань для РЕЗ і ВП у смузі частот від 9 кГц до -300 ГГц. Однак із метою практичного застосування цю смугу допускається обмежувати в певних границях, які наведені в табл. 3.5, при цьому пропонується виконувати вимірювання і за межею верхнього значення частоти. Крім цього діапазон вимірювання побічних випромінювань повинен включати найвищу частоту гетеродина приймача контрольованого РЕЗ і її гармоніки.

Таблиця 3.4 - Контрольні (еталонні) смуги частот, в яких повинні вимірюватися рівні побічних випромінювань Δ

Діапазон частот контролю	Значення контрольної смуги частот, $\Delta f$	
	Норми 18	Рекомендація ITU-R SM.329
Від 9 кГц до 150 кГц	1 кГц	1 кГц
Від 150 кГц до 30 МГц	1 кГц	10 кГц
Від 30 МГц до 300 МГц	10 кГц	100 кГц
Від 300 МГц до 1 ГГц	100 кГц	100 кГц
Від 1 ГГц до 4 ГГц	100 кГц	1 МГц
Від 4 ГГц до 40 ГГц	1 МГц	1 МГц

Таблиця 3.5 – Рекомендовані діапазони частот, у межах яких потрібно вимірювати рівні побічних випромінювань.

Основний діапазон частот	Діапазон вимірювання побічних випромінювань	
	Нижнє значення частоти	Верхнє значення частоти
Від 9 кГц до 100 МГц	9 кГц	1 ГГц
Від 100 МГц до 300 МГц	4,9 кГц	10-а гармоніка
Від 300 МГц до 600 МГц	30 МГц	3 ГГц
Від 600 МГц до 5,2 ГГц	30 МГц	5-а гармоніка
Від 5,2 ГГц до 13 ГГц	30 МГц	26 ГГц
Від 13 ГГц до 150 ГГц	30 МГц	2-а гармоніка
Від 150 ГГц до 300 ГГц	30 МГц	300 ГГц

### **3.6 Нормативні засади для РЕЗ радіотехнологій у смугах загального користування**

Вирішення надзвичайно гострих проблем позбавлення взаємних завад між РЕЗ досягається не тільки шляхом проведення міжнародної координації всіх систем зв'язку, розширення діапазону використовуваного РЧС, розроблення методів частотного планування мереж радіозв'язку та радіомовлення, проведення радіомоніторингу РЧС, а й шляхом прийняття міжнародних і державних нормативних документів на параметри й характеристики засобів зв'язку та розроблення методів їх контролю.

В цьому підрозділі наведені для РЕЗ різних радіотехнологій, які використовуються загальними користувачами, основні національні та іноземні (ETSI, CENELEC, IEC тощо) стандарти та нормативні документи, що вста-

# НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ РЧР

новлюють вимоги до параметрів і характеристик РЕЗ, визначають методи їх вимірювань та випробувань, а також відповідні рекомендації МСЕ та інші нормативні документи, в яких зазначені умови використання РЧР щодо забезпечення ЕМС РЕЗ.

Нормативні документи та рекомендації, які регламентують загальні вимоги до РЕЗ, методи вимірювань і випробувань РЕЗ на відповідність цим вимогам, наведені в табл. 3.6, а нормативні документи та рекомендації, що визначають основні технічні вимоги до характеристик і електричних параметрів РЕЗ та методи їх контролю - в табл. 3.7. Повні їхні позначення й назви наведені в Додатку Б.

Таблиця 3.6 - Основні нормативні документи, що визначають загальні вимоги до РЕЗ і методи їх контролю

Позначення документа	Примітки
1	2
<b>ВИМОГИ ЕМС</b>	
ETSI EN 300 339 ETSI EN 301 489 ETSI EN 301 489-01	Загальні вимоги
ДСТУ 2793	Стійкість до впливу потужних електромагнітних завад. Загальні положення
ГОСТ 23511 ГОСТ 30320 ГОСТ 30429 Норми 8 Норми 9 EN 55 022	Норми на індустрійні радіозавади
ГОСТ 29216	Норми на індустрійні радіозавади (чинний до 01.07.2008 р.)
ДСТУ EN 55 013	Норми та методи вимірювання характеристик радіозавад приймальних пристроїв та підключеного до них обладнання
ДСТУ 4197 EN 50083-2	Для обладнання кабельних розподільчих систем
EN 300447	Для передавачів звукового мовлення з ЧМ у діапазоні НВЧ
EN 301 489-02	Для радіообладнання оповіщення
EN 30/ 489-03 ETS 300 683	Для систем радіодоступу на близьких відстанях
ДСТУ 4205	Для кабельних розподільчих систем

НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР

Продовження таблиці 3.6

1	2
EN 301 489-04	Для фіксованих радіоліній і допоміжного обладнання та служб радіозв'язку
ETS 300 329 EN 301 489-06	Для цифрового безпроводового радіозв'язку DECT
EN 301 489-07	Для рухомого, портативного і додаткового обладнання цифрових мереж стільникового радіозв'язку (GSM і DCS)
EN 301 489-08	Для базових станцій GSM
EN 301 489-09	Для безпроводових мікрофонів та аналогічного радіочастотного звукового лінійного обладнання
EN 301489-10	Для обладнання безпроводових телефонів першого (СТ1 і СТ1+) та другого (СТ2) поколінь
EN 301 489-11	Для передавачів служби наземного звукового мовлення
EN 301 489-14	Для передавачів служби аналогового і цифрового наземного телевізійного мовлення
EN 301 489-15	Для комерційно доступного аматорського обладнання
EN 301489-16	Для рухомого та портативного обладнання аналогових систем стільникового радіозв'язку
EN 301 489-17	Для обладнання широкосмугових даних і HIPERLAN
EN 300 827 EN 301489-18	Для обладнання суходільної системи транкінгового радіозв'язку (TETRA)
EN 301489-19	Для приймальних земних рухомих станцій, що працюють у діапазоні частот 1,5 ГГц і забезпечують приймання даних
EN 300 673	Для приймальних земних рухомих станцій з дуже малою апертурою, супутникової системи збирання новин, супутникових інтерактивних терміналів і супутникових користувальницьких терміналів, що працюють у смузі частот від 4 ГГц до 30 ГГц
EN 301 489-20	Для земних рухомих станцій рухомої супутникової служби
EN 301 489-23	Для радіообладнання, ретрансляторів та допоміжного обладнання базових станцій, що використовують IMT-2000 CDMA з прямим розширенням спектра (UTRA)
EN 301 489-25	Для рухомих станцій та допоміжного обладнання, що використовують COMA Ix із розширенням спектра
EN 301 489-24	Для рухомого та переносного радіо- та допоміжного обладнання, що використовують IMT-2000 CDMA з прямим розширенням спектра (UTRA)

Продовження таблиці 3.6

1	2
EN 301 489-26	Для базових станцій, ретрансляторів та допоміжного обладнання, що використовують CDMA 1x із розширенням спектра
EN 301 489-28	Для безпроводових цифрових відеоліній
ДСТУ CISPR 22	Для обладнання інформаційних технологій
ДСТУ IEC 60870-2-1	Для систем та обладнання дистанційного керування
<b>Загальні вимоги безпеки</b>	
ДСТУ EN 50360	Вимоги безпеки стосовно впливу на організм людини електромагнітних полів від обладнання систем стільникового радіозв'язку (чинні з 01.01.2009 р.)
ДСТУ EN 50385	
ГОСТ 12.1.006	Допустимі рівні електромагнітних полів радіочастот на робочих місцях
ГОСТ 12.2.003	Загальні вимоги безпеки праці
ДСТУ 4755	Вимоги безпеки для радіопередавального обладнання
ГОСТ 12.2.006	Вимоги безпеки для електронного обладнання
ДСТУ EN 41 003	Вимоги безпеки для обладнання, яке підключають до телекомунікаційних мереж
SENELEC EN 60 215	Вимоги безпеки для радіопередавального обладнання
<b>Якість надання ПОСЛУГ радіозв'язку</b>	
ГОСТ 16600	Норми розбірливості мови
ДСТУ 4184	Норми якості для передавання даних
ETSI TS 129 208	Цифрова стільникова система зв'язку (UMTS)
ETSI TS 102 250-2	Параметри якості послуг зв'язку мереж GSM і 3G
Rec. ITU- T X.140	Параметри якості послуг зв'язку мережами даних загального користування
Rec. ITU-T G.821 Rec. ITU-T G.826 Rec. ITU-R F.1092 Rec. ITU-R F. 1189	Норми якості зв'язку для цифрових ліній (у т.ч. радіорелейних)
Rec. ITU-T G.821 Rec. ITU-T G.826 Rec. ITU-R F.1092 Rec. ITU-R F.1189	Норми якості зв'язку для цифрових ліній (у т.ч. радіорелейних)
Rec. ITU-T G.1010	Категорії якості мультимедійних послуг
ГОСТ 26320	Методи суб'єктивного оцінювання якості кольорових телевізійних зображень

Таблиця 3.7 - Основні нормативні документи, що визначають технічні вимоги до характеристик і електричних параметрів РЕЗ і методи їх контролю

Позначення документа	Примітки
1	2
<b>Аналоговий короткохвильовий Та ультракороткохвильовий радіозв'язок (у т.ч. персональний)</b>	
ГОСТ 14663	Базові стандарти
ГОСТ 13420	
ГОСТ 22579	
ДСТУ 4184	Смуга радіочастот від 30 МГц до 300 МГц
EN 302 750	Смуга радіочастот від 66 МГц до 73 МГц
EN 301688	Смуга радіочастот від 121,5 МГц до 123, 1 МГц
EN 300162-1, -2,-3	Технічні характеристики радіотелефонних передавачів і приймачів морської рухомої служби та методи їх вимірювань
EN 300433	Технічні характеристики обладнання зі двосмуговою або односмуговою АМ та методи їх вимірювань
EN 300 086 EN 300 296	Технічні характеристики та умови випробувань радіообладнання, призначеного для аналогового мовлення
EN300113 EN 300 390	Технічні характеристики радіообладнання, призначеного для передавання даних і (або) мови, та методи їх вимірювань
EN 300219 EN 300341	Технічні характеристики радіообладнання для передавання сигналів з ініціалізацією певної відповіді в приймач еві та методи їх вимірювань
EN 301 025-1, -2,-3 EN 301 178-1,-2	Технічні характеристики радіообладнання для УКХ радіотелефонії та методи їх вимірювань
ГОСТ 30318 Rec. ITU-R SM.1138	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
<b>РЕЗ приймально-передавальні (у т.ч. з кутовою модуляцією)</b>	
ДСТУ 4184	Базовий стандарт для смуги радіочастот від 30 МГц до 1 ГГц
ГОСТ 22579	Типи радіостанцій, основні параметри, Технічні вимоги та методи вимірювань
ГОСТ 22580 ГОСТ 25792 ГОСТ 26897	Типи радіостанцій та приймачів морської рухомої служби, основні параметри, технічні вимоги та методи вимірювань

НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ  
РЧР

Продовження таблиці 3.7

1	2
EN 300 086 EN 300 296	Технічні характеристики та умови випробувань радіообладнання, призначеного для аналогового мовлення
EN 300 113 EN 300390	Технічні характеристики радіообладнання, призначеного для передавання даних і (або) мови, та методи їх вимірювань
EN 300 219 EN 300 341	Технічні характеристики радіообладнання для передавання сигналів з ініціалізацією певної відповіді в приймачеві та методи їх вимірювань
ДСТУ EN55 0 13	Вимоги ЕМС для приймальних пристроїв і методи їх контролю
ГОСТ 30318 Rec. ITU-R SM.1 138	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
ДСТУ 4755	Вимоги безпеки для радіопередавального Обладнання
ДСТУ4113 ДСТУ 4467	Вимоги безпеки та методи вимірювань для відокремлених джерел живлення абонентського обладнання
<b>Аналогове звукове радіомовлення</b>	
ГОСТ 13924	Базовий стандарт для діапазонів НЧ, СЧ, ВЧ і ДВЧ
ДСТУ 4053	Загальні технічні вимоги до системи стереофонічного звукового мовлення з пілот-тоном
ГОСТ 18633	Параметри системи стереофонічного радіомовлення
ГОСТ I 1515	Основні параметри каналів і трактів звукового
ГОСТ 21655	радіомовлення, технічні вимоги і методи вимірювань
EN 300 135	Технічні характеристики та методи вимірювань для радіообладнання з кутовою модуляцією
EN 302 017-1,-2	Технічні характеристики та методи вимірювань для передавального обладнання з АМ
EN 302018-1,-2	Технічні характеристики та методи вимірювань для передавального обладнання з ЧМ
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
ETS 300 384	Для передавачів звукового мовлення з ЧМ у діапазоні ДВЧ
Rec. ITU-R BS.450	Стандарти передавання для ЧМ звукового мовлення в діапазоні ДВЧ
ГОСТ 30318 Rec. ITU-R SM.1 138	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
Норми 8	Норми допустимих індустрийних радіозавод

**НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
<b>Цифрове наземне звукове радіомовлення</b>	
EN 302 077-1,-2	Стандарт T-DAB
EN 302 245-1,-2	Стандарт DRM
ГСТУ 45.023	Фізичні та електричні характеристики інтерфейсів цифрових мереж телекомунікацій
EN301 489-11	Вимоги EMC для передавачів
<b>Пейджинговий радіозв'язок (POCSAG, FLEX)</b>	
ДСТУ4184	Базовий стандарт
EN 300 113 EN 300 390	Технічні характеристики радіообладнання, призначеного для передавання даних і (або) мови, та методи їх вимірювання
EN 300 224-1,-2	Технічні та функціональні характеристики обладнання локальної служби оповіщення та
ETS 300 086	Технічні характеристики та умови випробувань радіообладнання призначеного
ETS 300 719-1	Технічні характеристики для персональних систем оповіщення на великих територіях
Rec. ITU-R M.539	Технічні та функціональні характеристики
EN 300 489-02	Вимоги EMC
<b>Аналоговий транкінговий радіозв'язок (MPT 1327, Smart TRANK.)</b>	
ДСТУ4184 EN 300 086	Базові стандарти
EN 300 827 EN 301 489-18	Вимоги EMC
<b>Цифровий транкінговий радіозв'язок (TETRA Air, TETRA, TETRA COMPACT, TETRA DIMETRA)</b>	
ДСТУ4184 EN 303 035	Базові стандарти
EN 300 827 EN 301 489-18	Вимоги EMC
<b>Радіотелефонний зв'язок (СТ-1 і СТ-2)</b>	
EN 301 796 EN 301 787	Базові стандарти
EN 301 489-10	Вимоги EMC
<b>Аналоговий стільниковий радіозв'язок NMT-450</b>	
ДСТУ4184	Базовий стандарт



**НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ  
РЧР**

1	2
EN 300 086 EN 300 296	Технічні характеристики та умови випробувань радіо-обладнання, призначеного для аналогового мовлення
EN 300 113 EN 300 390	Технічні характеристики радіообладнання, призначеного для передавання даних і (або) мови, та методи їх
EN 300 21,9 EN 300 341	Технічні характеристики радіообладнання для передавання сигналів з ініціалізацією певної відповіді в приймачеві та методи їх вимірювань
EN 301 489-16	Вимоги EMC
<b>Цифровий стільниковий радіозв'язок D-AMPS</b>	
ТІА/ЕІА/ІS-137 ТІА/ЕІА/ІS-138	Базові стандарти
ТІА/ЕІА/ІS-136 ТІА/ЕІА/ІS-54-B	Сумісність між рухомою та базовою станціями
ГОСТ 30318	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
ГОСТ 30429	Норми на індустріальні радіозавали
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
<b>Цифровий стільниковий радіозв'язок UMTS (CDMA)</b>	
ТІА/ЕІА/ІS-95A ТІА/ЕІА-ІS/98-B ТІА/ЕІА/ІS-2000.2-A ТІА/ЕІА-553-A ТІА/ЕІА-95-B ТІА/ЕІА-97-C	Базові стандарти
EN 301 908-1,....,-7, -9,-10,-11	Стандарти для ІМТ-2000
<b>Цифровий безпроводовий радіозв'язок DECT</b>	
EN 301 449	Стандарт для CDMA 450 і CDMA-PAMR
ГОСТ 30318	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
EN 301 489-23,-24 -25 -26	Вимоги EMC
ETSITS 129 208	Якість надання послуг зв'язку

Продовження таблиці 3.7

**НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ КОРИСТУВАННЯ  
РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
EN 301 406 EN300 175	Базові стандарти
ГОСТ 26886 ГОСТ 7153	Вимоги до параметрів стиків
ETS 300 329 EN 301489-06	Вимоги ЕМС
ГОСТ 30318	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
EN 300 176-1	Випробування на підтвердження відповідності
Rec. ITU-T G.703	Характеристики цифрових інтерфейсів
<b>Цифровий стільниковий радіозв'язок GSM 900/1800</b>	
ДСТУ ETSI TS 151 010 ДСТУ ETSI TS 101 087	Базові стандарти
ДСТУ ETSI EN 301 502 ДСТУ ETSI EN 301 511	Базові стандарти
EN 300 607-1 (GSM	Специфікація відповідності для рухомої станції
EN 301 087 (GSM	Специфікація обладнання для базової станції
EN 301 419	Вимоги до системи GSM
ETSI EN 300 609-4 (GSM 11 26)	Вимоги до повторювачів
ETS 300 342 ETSI EN 301 489 EN 301 489-	Вимоги ЕМС
TS 143 064	Загальний опис радіоінтерфейсу GPRS
Rec. ITU-R SM 329	Вимоги до побічних випромінювань
ETSITS 102 250-2	Вимоги до параметрів якості надання послуг
<b>Широкопasmуговий радіодоступ</b>	
EN 301 753	Базовий стандарт для обладнання та антен у смузі радіочастот від 1430,5 МГц до 2232 МГц
IEEE802.11	Смуга радіочастот від 2400 МГц до 2483,5 МГц; швидкість передавання даних 1 Мбіт/с і 2 Мбіт/с
IEEE 802.11b	Смуга радіочастот від 2400 МГц до 2483,5 МГц; швидкість передавання даних до 22 Мбіт/с (Wi-Fi)
IEEE 802.11a	Смуга радіочастот від 5150 МГц до 6425 МГц; швидкість передавання даних до 54 Мбіт/с

**НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ  
РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
IEEE 802.И g	Смуга радіочастот від 2400 МГц до 2483,5 МГц; швидкість передавання даних до 108 Мбіт/с
IEEE 802.15.1	Низькошвидкісна (до 1Мбіт/с) мережа в смузі радіочастот від 2400 МГц до 2483,5 МГц (Bluetooth, WPAN)
IEEE 802.15.4	Низькошвидкісна мережа внутрішньоофісного і домашнього застосування в смузі радіочастот від 2400 МГц до 2483,5 МГц (ZigBee)
IEEE 802.16	Високошвидкісна (від 32 Мбіт/с до 134,4 Мбіт/с) мережа внутріофісного і домашнього застосування в смузі радіочастот від 2 ГГц до 66 ГГц (BWA)
IEEE 802.16a	Базовий для смуги радіочастот від 2 ГГц до 11 ГГц (WiMAX)
IEEE 802.16e	Для мобільної версії WiMAX
ETSIEN301 893	Мережі високоякісного зв'язку в смугах радіочастот від 5,15 ГГц до 5,35 ГГц і від 5,470 ГГц до 5,725 ГГц (RLAN)
EN 300 328	Технічні характеристики та умови випробувань для обладнання передавання даних, що працює в смузі ISM діапазону 2,4 ГГц і використовує методи модуляції з
EN 301 489-17	Вимоги EMC
<b>Системи радіодоступу на близьких відстанях (малого радіуса дії)</b>	
EN 300 220	Базовий для смуги радіочастот від 25 МГц до 1 ГГц
EN 300 330	Базовий для смуги радіочастот від 9 кГц до 30 МГц
EN 300 440-1,	Базовий для смуги радіочастот від 1 ГГц до 40 ГГц
EN 300 761	Ідентифікація залізничного транспортного засобу
EN301 489-03 ETS 300 683	Вимоги EMC
Rec. ITU-R SM.1538 Rec. CEPT/ERC/ REC 70-03	Рекомендації стосовно електричних та спектральних параметрів
<b>Мультисервісний радіодоступ</b>	
ДСТУ EN 300 749	Базовий стандарт для смуг радіочастот від 2,3 ГГц до 2,4 ГГц і від 2,5 ГГц до 2,7 ГГц
EN 301 021 EN 301 124	Смуга радіочастот від 3 ГГц до 11 ГГц
Rec. ITU-R F.1488	Смуга радіочастот від 3,4 ГГц до 3,7 ГГц
ERC/REC 12-05	Смуги радіочастот від 10,15 ГГц до 10,3 ГГц і від 10,5 ГГц до 10,65 ГГц

EN 301 213	Смуга радіочастот від 24,5 ГГц до 26,5 ГГц
------------	--

**НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
EN 300 431	Смуга радіочастот від 24,5 ГГц до 29,5 ГГц
EN 302 326-	Вимоги до цифрових багатопунктових систем
EN 302 326-	Вимоги до антен цифрових багатопунктових систем
<b>Мультимедійний радіодоступ</b>	
ДСТУ EN 300 748	Базовий стандарт
ECC/DEC(99)1 5	Смуга радіочастот від 40,5 ГГц до 42,5 ГГц
EN 301 997-	Смуга радіочастот від 40,5 ГГц до 43,5 ГГц
EN 302 326-	Вимоги до цифрових багатопунктових систем
EN 301 489-28	Вимоги EMC для безпроводових цифрових відеоліній
Rec. ITU-T G.1010	Категорії якості мультимедійних послуг
<b>Телефонний проводований зв'язок у поєднанні з безпроводовою трубкою (в т.ч. радіоподовжувачі, радіотелефони, безпроводові мікрофони тощо)</b>	
ДСТУ 4184	Базовий стандарт для радіоподовжувачів абонентських телефонних ліній (SENAO, HARVEST)
EN 300 086 EN 300 296	Основні загальні стандарти для радіоподовжувачів абонентських телефонних ліній
EN 300 220 EN301 357	Базові стандарти для малопотужного безпроводового аудіозастосування: - у смузі радіочастот від 25 МГц до 1 ГГц; - у смузі радіочастот від 863 МГц до 865 МГц
EN 300 422	Базовий стандарт для безпроводових мікрофонів у смузі радіочастот від 25 МГц до 3 ГГц
EN 300 631	Вимоги до параметрів антен
ДСТУ ENV 50204	Вимоги EMC для цифрових радіотелефонів
EN301 489-09	Вимоги EMC для безпроводових мікрофонів та аналогічного радіочастотного звукового лінійного зв'язку
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
ГОСТ 30318 Rec,ITU-RSM.1138	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 23511	Норми на індустріальні радіозавади
ETS300 113	Технічні характеристики радіообладнання, призначеного для передавання даних і мови, та методи їх вимірювань
ДСТУ ГОСТ 30428	Норми та методи випробування на індустріальні радіозавади від обладнання проводового зв'язку
ГОСТ 29280	Випробування на заводостійкість

НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР

Продовження таблиці 3.7

1	2
<b>Радіорелейний зв'язок</b>	
ДСТУ 3937 EN 301 751	Базові стандарти
ГОСТ 11515	Основні параметри каналів і трактів звукового радіомовлення, технічні вимоги і методи вимірювань
ГОСТ 19463	Основні параметри магістральних каналів зображення радіорелейних систем передавання, технічні вимоги та методи
ДСТУ ГОСТ 30784	Основні параметри кіл стику
ГОСТ 26886	Вимоги до параметрів кіл стиків цифрових каналів передавання
EN 302 217-2-2	Характеристики та вимоги для обладнання з антеною пункт-пункт фіксованих радіосистем
EN 302 326-1,-	Вимоги до цифрових багатопунктових систем
Rec. ITU-R SF.406	Вимоги до еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності (e.i.v.p.)
Rec. ITU-R F.404	Рекомендації щодо девіації частоти для аналогових радіорелейних систем
Rec.ITU-R F.283	Діапазон радіочастот 2 ГГц
Rec. ITU-R F.382	Діапазони радіочастот 2 ГГц і 4 ГГц
ERC/REC 12- 00	Смуга радіочастот від 3,8 ГГц до 4,2 ГГц
Rec. ITU-R F.383 ERC/REC 14-01	Смуга радіочастот від 5925 МГц до 6425 МГц
Rec. ITU-R F.384 ERC/REC 14-02	Смуга радіочастот від 6425 МГц до 7110 МГц
Rec. ITU-R F.385	Смуга радіочастот від 7110 МГц до 7750 МГц
Rec. ITU-R F.386	Смуга радіочастот від 7900 МГц до 8500 МГц
ERC/REC 12- 05	Смуга радіочастот від 10 ГГц до 10,68 ГГц
Rec. ITU-R F.387 ERC/REC	Смуга радіочастот від 10,7 ГГц до 11,7 ГГц
EN 301 216 EN 301021 EN 301 111	Смуга радіочастот від 3 ГГц до 11 ГГц
EN 301 128	Смуги радіочастот: від 12,75 ГГц до 13,25 ГГц; від 14,4 ГГц до 14,5 ГГц; від 14,8 ГГц до 15,35 ГГц; від 17,7 ГГц до 19,7 ГГц
Rec. ITU-R F.497 ERC/REC	Смуга радіочастот від 12,75 ГГц до 13,25 ГГц
Rec. ITU-R F.636	Смуги радіочастот: від 14,4 ГГц до 14,5 ГГц і від 14,8 ГГц до 15,35 ГГц

НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР

Продовження таблиці 3.7

1	2
Rec. ITU-R F.595 ERC/REC 12-03 EN 300 430	Смуга радіочастот від 17,7 ГГц до 19,7 ГГц
EN 300 639 EN 300 786	Діапазони радіочастот 13 ГГц, 15 МГц і 18 ГГц
EN 300 198 T/R 13-02	Смуги радіочастот: від 22,0 ГГц до 22,6 ГГц та від 23,0 ГГц до 23,6 ГГц
Rec. ITU-R	Смуга радіочастот від 22,6 ГГц до 23,0 ГГц
Rec. ITU-R.1520	Смуга радіочастот від 31,8 ГГц до 33,4 ГГц
EN 300 197 Rec. ITU-R F.749	Смуга радіочастот від 36,0 ГГц до 40,5 ГГц
EN 301 387 ERC/REC 12-10	Смуга радіочастот від 48,5 ГГц до 50,2 ГГц
Rec. ITU-R1496	Смуга радіочастот від 51,4 ГГц до 52,6 ГГц
EN 300 407 Rec. ITU-R F.1497	Смуга радіочастот від 55,78 ГГц до 57 ГГц
EN 300 408	Смуга радіочастот від 57 ГГц до 59 ГГц
EN 300 234	Високошвидкісні цифрові радіорелейні станції для передавання сигналів 1xSTM-1, які працюють у смугах частот із рознесенням каналів близько 30 МГц і з почерговими призначеннями
EN 301 461	Високошвидкісні фіксовані радіосистеми для передавання сигналів з синхронною цифровою ієрархією (2xSTM-1) у смугах частот з рознесенням каналів 40 МГц, які використовують подвійну співканальну поляризацію
ГОСТ 30318 Норми 19 Rec. ITU-R SM.328 Rec. ITU-R SM.853 Rec. ITU-R SM. 1138	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань (Норми 19 чинні для частот понад 37,5 ГГц)
ГОСТ 30338 Rec. ITU-R SM.	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18 Rec. ITU-R SM.329 Rec. ITU-R	Вимоги до побічних випромінювань
Норми 8	Норми допустимих індустриальних радіозавод
EN 301 489-04	Вимоги EMC
Rec. ITU-R F.1101 Rec. ITU-	Характеристики цифрових радіорелейних систем

**НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
Rec. ITU-T G.821 Rec. ITU-T G.826 Ret. ITU-R F.1092 Rec. ITU-R F.1189	Норми якості зв'язку: - для цифрових мереж з інтеграцією служб (ISDN) із швидкістю передавання до 64 Кбіт/с - для міжнародних цифрових ліній - для міжнародних ділянок цифрових ліній, зокрема, для транзитних країн і країн із кінцевими пунктами системи передавання - для національних ділянок цифрових ліній
Rec. ITU-T G.703	Характеристики цифрових інтерфейсів
<b>Радіозв'язок фіксованої супутникової служби</b>	
ДСТУ4162	Загальний базовий стандарт
ДСТУ4510	Базовий стандарт для діапазонів частот 11/12/14 ГГц
ГСТУ 45.001	Базовий стандарт для земних малих станцій діапазонів частот 11/12/14 ГГц
ГСТУ 45.002	Основні параметри цифрових каналів
ГОСТ 19463	Основні параметри магістральних каналів зображення супутникових систем передавання, технічні вимоги та методи
Rec. ITU-R S.524	Вимоги до рівнів щільності ЕІВП для діапазонів частот 6 ГГц, 13 ГГц, 14 ГГц і 30 ГГц
ETS300 157	Приймальні земні станції типу VSAT для діапазонів частот 11/12 ГГц
ETS 300 333	Приймальні земні станції типу VSAT для діапазону частот 4 ГГц
ETS300 159	Приймальні чи приймально-передавальні станції типу VSAT для діапазонів частот 11/12/14 ГГц
ETS 300 456	Методи випробувань станцій типу VSAT для діапазонів частот 11/12/14 ГГц
ETS 300 332	Передавальні чи приймально-передавальні станції типу VSAT для діапазонів частот 6 ГГц і 4 ГГц
Rec. ITU-R S.725 Rec. ITU-R S.726 Rec. ITU-R	Рекомендації стосовно нормування характеристик земних станцій типу VSAT
ETS 300 333	Приймальні станції типу VSAT для діапазону частот 4 ГГц
Rec. ITU-R S.728 Rec. ITU-R S.729	Рекомендації стосовно нормування характеристик земних станцій типу VSAT
EN 301359 EN 301 459	Для супутникових терміналів, що передають у напрямку Земля - космос у смузі частот від 29,5 ГГц до 30 ГГц
Норми 8	Норми допустимих промислових радіозавод

**НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
EN 300 673	Вимоги EMC для станцій типу VSAT, супутникової системи збирання новин, супутникових інтерактивних терміналів і супутникових користувальницьких терміналів, що працюють у смузі частот від 4 ГГц до 30 ГГц
<b>Радіозв'язок рухомої супутникової служби</b>	
EN301 721	Низькошвидкісне передавання даних на радіочастотах до 1 ГГц
ETS 300 254	Низькошвидкісне передавання даних у діапазонах радіочастот 1,5/1,6 ГГц
ETS 300 255	Низькошвидкісне передавання даних у діапазонах радіочастот 11/12/14 ГГц
ETS 300 423	Передавання голосових сигналів і даних у діапазонах радіочастот 1,5/1,6 ГГц
EN 301 444	Забезпечення телефонії і (або) передавання даних у діапазонах радіочастот 1,5 ГГц і 1,6 ГГц
EN 301 681	Для персональних супутникових телекомунікаційних мереж, які працюють у діапазонах радіочастот 1,5/1,6 ГГц
EN 301 426 TBR44	Діапазон радіочастот 1,5/1,6 ГГц
EN301 441 TBR41	Діапазон радіочастот 1,6/2,4 ГГц
EN301 427	Діапазон радіочастот 11/12/14 ГГц
EN 301 430 ETS 300 327	Діапазон радіочастот 11-12/13-14 ГГц
EN301 489-19 EN301 489-20	Вимоги EMC
<b>Аналогове телевізійне мовлення</b>	
ДСТУ 3837 ДСТУ 3836	Базові стандарти
ГОСТ 20532	Базовий стандарт
EN 302 297	Вимоги до передавального обладнання
ГОСТ 11515	Основні параметри каналів і трактів звукового радіомовлення, технічні вимоги та методи вимірювань
ДСТУ 4213	Загальні технічні вимоги до системи цифрового звукового супроводу аналогового телебачення
ГОСТ 30318	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань



**НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
ГОСТ 23511 ГОСТ 30429	Норми на індустрийні радіозавади
Rec. ITU-R SM.1138	Вимоги до ширини смуги радіочастот
EN 301 489-14	Вимоги EMC
ГОСТ 29280	Випробування на завадостійкість
ДСТУ ETSI EN 302 296 ДСТУ ETSI TR 101 190	Базові стандарти (в розробці)
<b>Цифрове наземне телевізійне мовлення</b>	
ДСТУ 4215 ДСТУ ETSI EN 300 468	Цифрове наземне телевізійне мовлення стандарту DVB-T
ДСТУ ETSI TR 101 290	Настанови щодо вимірювання характеристик систем передавання
ДСТУ EN 300 744	Загальні технічні вимоги до структури кадрів, каналного кодування та методів модуляції в системі цифрового наземного телебачення
ДСТУ EN 300 421	Загальні технічні вимоги до структури каналу, кодування каналу та методів модуляції в супутни-кових службах частотних діапазонів 11/12 ГГц
ДСТУ EM 300 473	Загальні вимоги до системи розподілу сигналів супутникового телебачення з прийманням на колективну антену
ДСТУ ETSI EN 301 199	Загальні технічні вимоги до інтерактивного каналу локальних багатопунктових розподільчих систем
EN 301 701	Цифрове наземне телевізійне мовлення з OFDM
EN 300 673 EN 301 489-14	Вимоги EMC
ETS 300 327	Рухомі суходільні станції діапазонів 13-14/11-12 ГГц супутникової служби новин
<b>Розподільчі мережі приймальних систем радіомовлення та телебачення</b>	
ДСТУ 4200 EN 50 083-5	Загальні технічні вимоги та методи вимірювання для обладнання головних станцій
ДСТУ 4196 ГОСТ 11216 ГОСТ 28324	Базові стандарти
ДСТУ 4470	Основні положення

**НОРМАТИВНО - ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР**

Продовження таблиці 3.7

1	2
ДСТУ4198 ДСТУ4199	Загальні технічні вимоги та методи вимірювання для обладнання широкосмугових систем телевізійного та звукового мовлення й інтерактивних мультимедійних служб на основі коаксіального кабелю
ДСТУ EN 300 473	Загальні вимоги до системи розподілу сигналів супутникового телебачення з прийманням на колективну антену
ДСТУ4214	Загальні технічні вимоги до структури кадрів, кодування каналу та методів модуляції в кабельних розподільчих системах
ДСТУ 4202	Загальні технічні вимоги до інтерфейсів кабельних розподільчих систем з цифровою модуляцією
ДСТУ EN 300 748	Загальні технічні вимоги до багатопунктових цифрових телевізійних розподільчих систем діапазону частот 10ГГц і вище
ДСТУ EN 300 749	Загальні технічні вимоги до розподільчих мікрохвильових багатопунктових систем (MMDS) в частотному діапазоні до 10 ГГц
ДСТУ ETSI EN 301 199	Загальні технічні вимоги до інтерактивного каналу локальних багатопунктових розподільчих систем цифрового телевізійного мовлення
ДСТУ ETSI EN 200 800	Загальні технічні вимоги до інтерактивного каналу кабельних телевізійних розподільчих систем CATV цифрового телевізійного мовлення
ГОСТ 11289	Загальні технічні вимоги до телевізійних приймальних антен
ГОСТ 19871	Основні параметри та методи вимірювань каналів зображення
<b>Аматорський радіозв'язок</b>	
EN301 783-1,-2	Базовий стандарт
EN 300 489-15	Вимоги ЕМС
Норми 18 Rec.ITU-R IM.329	Вимоги до побічних випромінювань
<b>Радіотелеметрія та радіодистанційне керування</b>	
ДСТУ 4184	Базовий стандарт
EN 200 220-2	Малопотужні застосування в діапазоні частот від 25 МГц до 1000 МГц
EN 300 330-2	Малопотужні застосування в діапазоні частот від 9 кГц до 25 МГц

НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
КОРИСТУВАННЯ РЧР

Кінець таблиці 3.7

1	2
EN 300 440-2	Малопотужні застосування в діапазоні частот від 1 ГГц до 40 ГГц
ДСТУ І ЕС 60 870-3	Вимоги до електричних характеристик інтерфейсів
ДСТУ І ЕС 60 870-4	Вимоги до робочих характеристик
ГОСТ 303 18	Вимоги до ширини смуги радіочастот і позасмугових випромінювань
ГОСТ 30338	Вимоги до допустимих відхилень частоти
Норми 18	Вимоги до побічних випромінювань
<b>Радіозв'язок у системах охоронної та пожежної сигналізації</b>	
ДСТУ 4184	Базовий стандарт
EN 300 086 EN 300 296	Технічні характеристики та умови випробувань радіообладнання
EN 300 113 EN 300 390	Технічні характеристики радіообладнання для передавання даних і (або) мови та методи їх вимірювань
EN 300 219 EN 300341	Технічні характеристики радіообладнання для передавання сигналів з ініціалізацією <sup>10</sup> певної відповіді в приймачеві та методи їх вимірювань

Розділ 4

**ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ  
РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ**

**4.1 Вимірювання радіочастоти**

**4.1.1 Загальні принципи технічного радіоконтролю частоти**

Технічний контроль електричних параметрів передавачів проводиться під час випробувань РЕЗ, уведення передавачів в експлуатацію та інспекційних перевірок РЕЗ. При цьому вимірювання проводять як вручну безпосередньо на антенному виході передавача з урахуванням впливу на РЕЗ усіх дестабілізуючих чинників (кліматичних, коливання рівня напруги й частоти електроживлення тощо) за допомогою методик, визначених технічними умовами на конкретні типи РЕЗ, так і дистанційно, „за полем”, у реальних умовах їхньої експлуатації із застосуванням автоматизованих засобів радіомоніторингу або технічних засобів радіоконтролю.

У першому випадку, відповідно до ГОСТ 30338, вимірювання частоти проводять, як правило, в режимі без модуляції несучої частоти і за умови, що передавач настроєний на віддачу номінальної потужності в навантаження (антену чи її еквівалент) [45].

Відомо багато методів вимірювання частоти та її допустимого відхилення, які можуть бути використані під час проведення технічного контролю електричних параметрів РЕЗ (наприклад, наведені в ГОСТ 30338), але найпоширенішого застосування здобули методи, які ґрунтуються на використанні електронно-лічильного частотоміра або аналізатора спектра.

Контроль допустимого відхилення частоти радіопередавачів за допомогою електронно-лічильного частотоміра, здійснюють за узагальненою структурною схемою, наведеною на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Структурна схема вимірювання частоти радіопередавача із застосуванням електронно-лічильного частотоміра

## ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

У процесі проведення вимірювання частоти допускається підключати електронно-лічильний частотомір до проміжних каскадів радіопередавача, його попереднього підсилювача тощо;

Відповідність радіопередавача, частота якого контролювалася, вимозі щодо допустимого відхилення його робочої частоти визначають за формулами (3.1) — (3.3) після статистичного оцінювання низки (не менше 10) вимірів, похибка яких повинна бути не гірше 0,1 допустимого відхилення частоти. При цьому для всіх радіопередавачів, частота яких перевіряється, відповідно до вимог ГОСТ 30338, відношення значення похибки вимірювання, яка складається з похибки методу вимірювання та похибки засобів вимірювальної техніки, до значення допустимого відхилення частоти повинно бути не більше, ніж 1:3. Виняток становлять лише передавачі станцій радіовизначення (що працюють в режимі імпульсної модуляції короткими імпульсами в смузі частот від 0,1 ГГц до 10,5 ГГц), для яких допускається один порядок точності вимірювання відхилення частоти та його нормативного значення.

Стосовно допоміжного вимірювального обладнання (пристрої зв'язку, еквіваленти навантаження чи еквіваленти антен, атенюатори, узгоджувальні пристрої тощо), призначеного для відгалуження потужності з тракту радіопередавача на вхід вимірювального тракту, з метою підвищення точності вимірювання ГОСТ 30338 рекомендує таке:

1) коефіцієнт  $K_n$  передавання потужності пристрою зв'язку до вимірювального тракту повинен відповідати умові

$$\frac{P_{vx.min}}{P_0} \leq K_n \leq \frac{P_{vx.max}}{P_0},$$

де  $P_{vx.min}$ ,  $P_{vx.max}$  - відповідно чутливість та максимально допустиме значення потужності на вході вимірювального тракту;

$P_0$  - потужність у тракту радіопередавача в місці підключення вимірювального тракту;

2) допустима потужність розсіювання еквівалентних навантажень повинна бути не меншою максимальної середньої потужності радіопередавача, частота якого вимірюється;

3) коефіцієнт стоячої хвилі за напругою повинен бути таким, щоб забезпечувалася нормальна робота радіопередавача;

4) допускається виконувати пристрій зв'язку залежно від потужності радіопередавача у виді резистивного чи ємнісного подільника.

В більшості випадків технічний радіоконтроль частоти радіовипромінювання РЕЗ для оцінювання відхилення немодульованої несучої частоти передавача від присвоєної частоти здійснюється за результатами вимірювання значення середньої або характерної частоти модульованого радіовипромінювання в штатному режимі роботи передавача. Такі вимірювання проводяться на стаціонарних РКП або мобільними комплексами радіомоніторингу, які знаходяться на значній відстані від РЕЗ (тобто дистанційно), тому для моніторингу РЧС і технічного радіоконтролю методи вимірювання частоти, що наведені в ГОСТ 30338, не придатні.

## 4.1.2 Технічний радіоконтроль частоти

### 4.1.2.1 Основний принцип автоматизованого вимірювання частоти

В останні десятиліття суттєвих змін у методах вимірювання частоти не відбулося, хоча, внаслідок використання стандартів і синтезаторів частоти, комп'ютеризації процесів радіоконтролю та застосування при цьому ефективних методів цифрового оброблення радіосигналів у часовій або частотній області з наступним математичним аналізом їхніх частотних спектрів, удалося суттєво підвищити точність і швидкість вимірювання, а також спростити апаратну частину засобів радіоконтролю.

Всі вимірювання частоти, що виконуються на РКП мобільних комплексах радіомоніторингу або мобільних станціях технічного радіоконтролю, дистанційні й нині практично проводяться автоматизованими методами. Основними складовими частинами радіоконтрольної автоматизованої системи є цифровий вимірювальний РПП із синтезатором частоти, частотомір та процесор, причому функції частотоміра можуть здійснюватися програмно ПЕОМ, до складу якої входить указаний процесор. Процесор виконує функції керування роботою РПП і самої ПЕОМ та проводить математичне оброблення результатів вимірювання. Отримавши вихідні дані параметрів радіоконтролю, процесор за допомогою синтезатора частоти настраює РПП на контрольовану частоту шляхом перемикання його вхідних фільтрів і встановлення певного значення смуги пропускання. Якщо синтезатор управляється стандартною частотою, то центри смуг пропускання ВЧ трактів і ПЧ приймача визначаються досить точно. Враховуючи те, що у всіх вимірювальних РПП частота його вхідного сигналу перетворюється в певне значення ПЧ, то за вимірянним значенням ПЧ завжди можна визначити значення вхідної частоти. Всі подальші операції щодо проведення вимірювання частоти й визначення відхилень від нормативного (номінального) значення проводяться програмно ПЕОМ. При цьому процесор послідовно досить швидко настраює РПП на заздалегідь запрограмовані значення частот для їх приймання. В разі виявлення радіосигналу на якомусь каналі РПП фіксує свою подальшу роботу на певній смузі частот і під управлінням процесора проводить вимірювання частоти цього радіосигналу або її відхилення. У випадку виявлення неприпустимого відхилення частоти радіопередавача в деяких випадках (наприклад під час здійснення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів радіомовної служби, КХ або УКХ зв'язку) оператор радіоконтролю може призупинити цикл швидкісного сканування для того, щоб прослухати сигнали контрольованого ДРВ із метою його ідентифікації шляхом визначення позивних або назви радіостанції. За потреби виміряні значення частоти або її відхилення, а також інші параметри РЕЗ можуть бути занесені до постійної пам'яті ПЕОМ разом із часом та датою проведення радіоконтролю. Під час подальшого програмного оброблення даних вимірювання в разі наявності відповідної бази даних РЕЗ і ДРВ за результатами радіоконтролю може бути

встановлене місцезнаходження контрольованого передавача. Оскільки вся система управляється ПЕОМ, то це дозволяє досить швидко й просто контролювати різні ділянки частотного спектра шляхом настроювання РПП на будь-яку частоту в межах частотного діапазону, що ним приймається.

Вимірювання частоти на РКП можуть також виконуватися операторами вручну:

- 1) у випадках слабких сигналів і (або) в разі наявності значних завад;
- 2) на простих і дешевих засобах радіоконтролю;
- 3) у процесі навчання операторів РКП.

### 4.1.2.2 Основні вимоги до технічних засобів вимірювання частоти

У більшості випадків вимірювання частоти проводяться на стаціонарних РКП або мобільних комплексах (станціях) радіомоніторингу із використанням вимірювальних РПП і генераторів (стандартів) частоти.

Для отримання незаперечних вимірів РПП повинні мати такі характеристики [1]:

- високу вхідну чутливість;
- задовільне послаблення частоти дзеркального каналу;
- низькі рівні кросмодуляції та інтермодуляції;
- відповідні вхідні фільтри (попередній селектор) для захисту смуги частот, в якій проводяться вимірювання, від впливу сторонніх або завадових сигналів;

- низький рівень фазового шуму внутрішніх генераторів.

Крім цього, конструктивно у РПП:

- повинен бути вхід для підключення зовнішнього стандарту (еталона) частоти;

- повинен бути вихід ПЧ для забезпечення можливості проведення додаткових вимірювань;

- повинна забезпечуватися можливість регулювання підсилення (ручного, дистанційно керованого чи автоматичного);

- внутрішня(і) несуча(і) частота(и), що використовується(ються) узмішувачі(ах) повинна(і) бути отримана(і) із стандарту (еталона) частоти.

До характеристик і параметрів зовнішніх і внутрішніх генераторів сигналів для вимірювання частоти пред'являються такі вимоги:

- частота повинна синтезуватися зі стандарту (еталона) частоти;

- внутрішній стандарт частоти повинен мати відносну похибку не гірше  $10^{-7}$  як для основної частоти, так і для всієї можливої низки частот;

- дискретність частоти повинна бути не більше 1 Гц;

- повинен бути передбачений вхід для зовнішньої частоти 1 МГц, 5 МГц або 10 МГц;

- повинна бути передбачена можливість роботи внутрішнього стандарту частоти в режимі очікування;

діапазон частот повинен бути більший смуги частот, в якій проводяться вимірювання;

- побічні випромінювання на гармоніках повинні бути послаблені не менше, ніж на 30 дБ;

- побічні негармонійні випромінювання повинні бути послаблені не менше, ніж на 80 дБ;

- рівень фазового шуму в разі відстроювання від несучої частоти на 10 кГц повинен бути не більшим мінус 100 дБс/Гц;

- рівень вихідної напруги повинен регулюватися в діапазоні від 1 мВ до 1 В (для вихідного опору 50 Ом).

-

#### 4.1.2.3 Основні методи вимірювання частоти та її відхилення

Відомо багато методів вимірювання частоти, які можуть бути використані під час проведення моніторингу спектра й технічного радіоконтролю параметрів РЕЗ, але нині найпоширенішого застосування здобули [1]:

- 1) метод лічильника частоти (ЛЧ);
- 2) метод частотного дискримінатора (ЧД);
- 3) метод аналізу радіочастотного спектра (АРЧС);
- 4) метод вимірювання миттєвої частоти (ВМЧ);
- 5) метод швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Застосовність цих методів для радіочастотного контролю РЕЗ певних видів радіозв'язку наведена в табл. 4.1. Універсальними є останні три методи.

Таблиця 4.1. Застосовність методів вимірювання частоти для певних видів радіозв'язку [1]

І Види радіозв'язку	Метод				
	ЛЧ	ЧД	АРЧС	ВМЧ	ШПФ
Неперервна несуча (NON)	x	x	x	x	x
Радіомовлення і радіотелефонія	x	x	x	x	x
Аналогове телебачення	x	x	x	x	x
Цифрове радіомовлення			x		x
Телебачення MMDS	x		x		x
Системи широкосмугового безпроводового доступу			x	x	x
Системи множинного доступу			x	x	x
Імпульсні радіолокаційні сигнали		x	x	x	x
Стільникові системи телефонного зв'язку			x	x	x
Радіорелейний зв'язок	x		x	x	



Не залежно від методу, в будь якому випадку, вимірювання частоти повинні проводитися за оптимальних умов приймання сигналу ДРВ для того, щоб виключити вплив радіозавад і (або) завмирань сигналу на виміри. Крім цього бажано, щоб оператори радіоконтролю не знали точні значення частот, що вимірюються, з метою запобігання мимовільного корегування вимірів.

#### 4.1.2.3.1 Метод аналізу радіочастотного спектра

В разі застосування деяких видів цифрової модуляції, на відміну, наприклад, від більшості видів аналогової модуляції, центральна частота в спектрі сигналу РЕЗ виражена не чітко і однозначно визначити її важко або й неможливо (рис. 4.2, 8.25). У таких випадках вона може бути розрахована за результатами вимірювання ширини займаної смуги частот  $B_3$  і значень її верхньої та нижньої межі за формулою

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}, \quad (4.2)$$

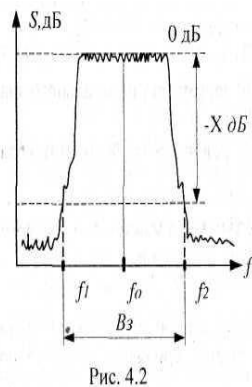


Рис. 4.2

де  $f_0$  - центральна частота спектра;  
 $f_1$  - нижнє значення ширини займаної смуги частот;  
 $f_2$  - верхнє значення ширини займаної смуги частот.

Вимірювання ширини займаної смуги частот у даному випадку можна провести відомими методами, наприклад, за критерієм X дБ за допомогою аналізатора спектра або за критерієм відношення потужностей з використанням методів ШПФ.

За допомогою цього методу можна виміряти частоту імпульсного, наприклад, радіолокаційного, радіосигналу (рис. 4.3). Як правило, зондуєчий сигнал радіолокатора представляє собою періодичну послідовність радіоімпульсів, які прямують із періодом повторення ТП. Спектр такого сигналу має дискретний характер. Тривалість імпульсу ті може бути визначена за значенням відстані між першими мінімумами амплітуд на зображенні спектра. За достатньої розрізнявальної здатності вимірювального засобу також може бути виміряна частота повторення імпульсів ТП як значення, яке відповідає відстані між дискретними складниками спектра сигналу. При цьому значення несучої частоти буде відповідати частоті, на якій спостерігається максимальне значення рівня амплітуди сигналу (в разі застосування осцилографа) або максимальне значення обвідної спектра сигналу (в разі застосування аналізатора спектра). Точність вимірювання за цим методом суттєво залежить від розрізнявальної здатності за частотою вимірювального засобу.

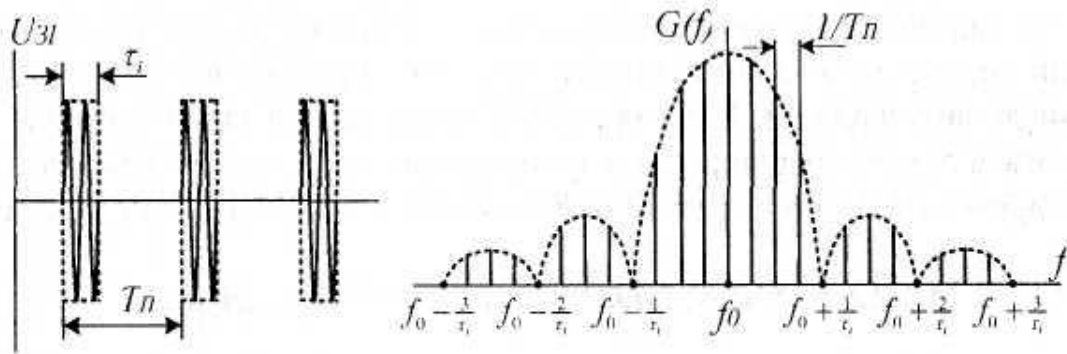


Рис. 4.3. Періодична послідовність імпульсів  
і спектр радіолокаційного сигналу

#### 4.1.2.3.2 Метод вимірювання миттєвої частоти

Для гармонійного частотно-модульованого коливання миттєва циклічна (колова) частота  $\omega(t)$  визначається як

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \psi) \quad (4.3)$$

де  $\Delta\omega = 2\pi f$  – амплітуда відхилення несучої частоти від номінального значення або девіація частоти.

Повна миттєва фаза  $\Theta$  радіосигналу пов'язана з його миттєвою частотою  $\omega(t)$  виразом

$$\Theta = \int \omega(t) dt = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t + \psi) + \varphi_0, \quad (4.4)$$

де  $m = \Delta\omega / \Omega$  – індекс частотної модуляції;  
 $\varphi_0$  – початкова фаза.

За формулою (4.4) миттєва частота сигналу відповідає швидкості зміни (похідній) його фази. В разі малих інтервалів спостереження для миттєвої частоти справедливий вираз

$$f(t) = \frac{\Theta(t) - \Theta(t - \Delta t)}{2\pi \Delta t}, \quad (4.5)$$

де  $\Theta$  – повна фаза сигналу;  
 $\Delta t$  – часовий інтервал, зазвичай, між сусідніми відліками сигналу.

Для гармонійного сигналу визначення миттєвої частоти можна звести до послідовного вимірювання рівня сигналу в близькі дискретні моменти часу (послідовного взяття трьох відліків) і вирішення системи тригонометричних рівнянь

$$\begin{cases} s(t_1) = A \cos(2\pi f t_1 + \varphi_0) \\ s(t_2) = A \cos[2\pi f(t_1 + \Delta t) + \varphi_0] \\ s(t_3) = A \cos[2\pi f(t_1 + 2\Delta t) + \varphi_0], \end{cases} \quad (4.6)$$

де  $t_1, t_2, t_3$  – моменти взяття відліків;  
 $A$  – амплітуда коливання.

Миттєва частота в даному випадку виражається співвідношенням

$$f(t_2) = \frac{1}{2\pi \Delta t} \arccos \left[ \frac{s(t_1) + s(t_3)}{2s(t_2)} \right]. \quad (4.7)$$

Це співвідношення справедливе лише для чистого синусоїдального сигналу. В загальному випадку в разі наявності шумів та модуляції потрібно визначати миттєву частоту комплексного сигналу

$$s^*(t) = s(t) + j \hat{s}(t), \quad (4.8)$$

де  $s(t)$  – вихідний сигнал;

$\hat{s}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(x)}{t-x} dx$  - вихідний сигнал, перетворений за Гільбертом (що еквівалентно проходженню сигналу через фазообертач із зсувом на  $\pi/2$ );  
 $j$  – умовна одиниця.

Миттєва частота у цьому випадку виражається як

$$f(t_2) = \frac{\hat{s}(t_2) \cdot s(t_1) - s(t_2) \cdot \hat{s}(t_1)}{2\pi \Delta t \left[ s^2(t_2) + \hat{s}^2(t_2) \right]}. \quad (4.9)$$

Дискретне перетворення Гільберта може бути здійснене на базі рекурсивних і нерекурсивних цифрових фільтрів, а також шляхом розкладання сигналу в ряд Котельникова [10].

Для достовірного оцінювання частоти у більшості випадків необхідне усереднення результатів вимірювання. Загальна тривалість вибірки, за якою буде визначатися частота, залежить від виду сигналу, відношення сигнал/шум та інших завдань, які також повинні бути вирішені під час проведення вимірювання (забезпечення максимальної точності, вимірювання короточасної нестабільності випромінювання передавача, вимірювання параметрів модуляції, одночасне вимірювання декількох характеристик тощо).

Під час вибору тривалості вибірки потрібно враховувати таке [1]:

1) короткі вибірки повинні використовуватися для якісного оцінювання миттєвої центральної частоти радіовипромінювання, що контролюється, в той же час тривалість вибірки повинна бути достатньою, щоб звести до мінімально можливої величину зміщення частоти, що може бути введено в процесі модуляції (у деяких цифрових сигналах модуляція зазвичай випадкова, наприклад, унаслідок скремблювання), тому для проведення повсякденних швидких вимірювань звичайних сигналів (крім сигналів системи множинного доступу) рекомендоване значення тривалості вибірки - 200 мс, а для повсякденних вимірювань звичайних сигналів із середньою швидкістю (крім сигналів системи множинного доступу) - 1 с;

2) невеликі значення вибірки повинні застосовуватися і за потреби контролю на РКП великої кількості радіопередавачів (наприклад, декількох тисяч каналів у смугах рухомого радіозв'язку шляхом поточного систематичного сканування смуг частот), що забезпечує можливість

збільшення ймовірності контролю різних радіопередавачів, які спільно використовують ту чи іншу частоту мережі;

3) невеликі значення вибірки повинні застосовуватися також і для того, щоб уникнути усереднення зміщення центральної частоти, оскільки мале значення вибірки і частий перегляд каналів дозволяє оцінити стабільність радіопередавача та визначити відхилення його частоти;

4) в разі контролю частоти сигналів передавачів, які використовують метод множинного доступу з частотним розділенням каналів (FDMA), розмір вибірки повинен відповідати тривалості кожного елементарного пакета (наприклад, для пакета сигналу GSM тривалістю 577 мкс рекомендована тривалість вибірки становить 500 мкс, а для повільних сигналів FDMA — від 5 мс до 10 мс), при цьому, для того, щоб під час вимірювання два різні пакети сигналів не перекривалися повинна застосовуватися синхронізація;

5) невеликі значення вибірки доцільно вживати і під час вимірювання широкосмугових (цифрових) сигналів, якщо небажано використовувати велике значення пам'яті й обчислювальну потужність ПЕОМ, а достатньо тільки розглянути статистичні характеристики таких сигналів;

6) тривалі значення вибірки повинні вживатися за потреби зведення до мінімуму помилок унаслідок впливу радіозавад, особливо для контрольованих сигналів із рівнем, що наближається до рівня шуму.

Методи цифрового оброблення сигналів дозволяють проводити вимірювання з достатньо високою точністю й достовірністю (повторюваністю). В разі настроювання вимірювального обладнання за відповідним стандартом частоти досить легко можна досягти точності вимірювання немодульованої несучої частоти порядку  $\pm 10^{-10}$ , тобто на сучасних РКП у разі вимірювання чистої несучої частоти у досить широкому частотному інтервалі (від 9 кГц до одиниць гігагерц) можна досягти точності близько 1 Гц.

Точність вимірювання частоти радіосигналів, модульованих випадковим чином, залежить від статистики сигналу й тривалості вибірки. Як правило, точність вимірювання для таких сигналів на порядок нижча, ніж для чистої синусоїдальної хвилі ( $\pm 10$  Гц у разі синхронізації за стандартом частоти  $10^{-10}$ ).

Під час вимірювання частоти на РКП заданим методом рекомендується [1] застосовувати мінімальну миттєву ширину смуги захоплення для того, щоб вона повністю відповідала сигналам, які контролюються, у вимірювальних фільтрах. На практиці вимірювання повинні проводитися з фільтрами, які мають достатньо широку смугу частот для розміщення контрольованого радіовипромінювання, але в то й же час і достатньо вузькою для обмеження впливу сусідніх випромінювань.

Сучасні вимірювальні радіоприймачі у своєму складі мають низку фільтрів (не менше 10), яких зазвичай достатньо для забезпечення фільтрації контрольованих сигналів. Так, ширина смуги  $\pm 300$  кГц відповідає багатьом сучасним цифровим сигналам, наприклад, системи GSM, але не відповідає сигналам цифрового звукового радіомовлення (DAB), сигналам системи

стільникового зв'язку множинного доступу з кодовим розділенням каналів (CDMA) або сигналам деяких високошвидкісних систем зв'язку на частотах до 3 ГГц, для яких, як правило, необхідна ширина смуги 2 МГц. Ураховуючи, що ширші смуги частот вимагають більш вартісного обладнання, залежно від мети вимірювання у діапазоні частот від 9 кГц до 3 ГГц рекомендується вживати такі значення миттєвої ширини смуги [1]:

- близько  $\pm 200$  кГц для РКП низьких категорій;
- близько  $\pm 2$  МГц для РКП вищих категорій.

У випадку проведення технічного радіоконтролю на частотах понад 3 ГГц або сигналів цифрового телевізійного мовлення бажано застосовувати більші значення миттєвої ширини смуги частот, наприклад, у межах від  $\pm 8$  МГц до  $\pm 10$  МГц.

Цей метод вимірювання частоти не можна застосовувати до сигналів з односмуговою модуляцією (крім окремого випадку модулювання гармонійним сигналом) та сигналів з ортогональним частотним розділенням каналів із кодуванням (COFDM) [10]. У цьому випадку оцінювання центральної частоти проводять методом, що ґрунтується на ШПФ.

#### 4.1.2.3.3 Метод швидкого перетворення Фур'є

ШПФ - це ефективний метод перетворення спектральної залежності цифрової амплітуди з часом у спектральну залежність амплітуди з частотою. При цьому звичайне дискретне перетворювання Фур'є, за якого потрібно  $N^2$  арифметичних операцій, замінюється рекурсивною послідовністю з кількістю операцій  $N \log_2 N$  за рахунок виключення повторень. Для роботи алгоритмів ШПФ необхідно, щоб довжина вихідної низки даних (кількість відліків сигнальної вибірки  $N$ ) була кратною ступеню 2. В той же час довжина сигнальної вибірки повинна бути достатньою для отримання необхідної роздільної здатності за частотою  $\Delta f$

$$N = F_{\text{дискр}} / \Delta f \quad (4.10)$$

де  $F_{\text{дискр}}$  - частота взяття відліків вибірки, яка за теоремою Котельникова повинна перевищувати як мінімум удвічі максимальну частоту сигналу, що перетворюється (див. Додаток В).

Детальне дослідження РЧС припускає наявність спектральної лінзи (ZOOM FFT) на основі збільшення тривалості вибірки за умови збереження смуги частот, яка аналізується, або зменшення цієї смуги і відповідного зменшення  $F_{\text{дискр}}$ , за тої ж тривалості вибірки.

Частота радіосигналу за даним методом оцінюється за максимальним спектральним складником.

У випадку визначення частоти ЧМ сигналів або сигналів із частотною маніпуляцією, в яких рівні спектральних складників на несучих частотах можуть бути меншими, ніж на інших частотах, унаслідок того, що їхній спектр залежить від фактичної модуляції та частотного зсуву (F1B, F7B), необхідно проводити усереднення спектра, тобто обчислювати середні

значення амплітуд спектральних складників для декількох поточних спектрів. Тривалий час усереднення потрібний і в разі вимірювання частоти сигналів із невисокими відношеннями сигнал/шум.

У процесі визначення частоти широкосмугових ЧМ сигналів (*F3E, F8E* тощо), в яких рівні спектральних складників на несучих частотах також залежать від фактичної модуляції, що утруднює їхнє вимірювання, з метою зниження індексу модуляції додатково може використовуватися ділення сигналу ПЧ (до 200 раз) із наступною поправкою на коефіцієнт ділення, Таким чином широкосмугові сигнали перетворюються у вузькосмугові, в результаті чого зміна рівня складника несучої частоти в спектрі сигналу виключається. Для сигналів, які не мають несучої частоти, наприклад, з ортогональним частотним розділенням каналів із кодуванням (COFDM) або з однією боковою смугою частот, значення центральної частоти обчислюється як середньоарифметичне значення крайніх частот смуги [1, 10].

Приклад системи вимірювання частоти на основі ШПФ наведений на рис. 4.4 [1].



Рис. 4.4 Структурна схема системи вимірювання частоти методом ШПФ

Вимірювання частоти радіосигналу аналізатором ШПФ виконується на виході ПЧ вимірювального радіоприймача, який настраюється разом із аналізатором за допомогою стандарту (синтезатора) частоти і ПЧ якого повинна знаходитися в робочій смузі частот аналізатора ШПФ. При цьому дуже висока роздільна здатність за частотою може бути досягнута за умови використання можливостей спектральної лінзи з функцією зважування Ханна в аналізаторі ШПФ.

В разі застосування зовнішнього стандарту частоти досяжна похибка вимірювання частоти за цим методом може знаходитися в межах від  $\pm 10^{-11}$  до  $\pm 10^{-8}$  [10].

Система вимірювання частоти методом ШПФ має в загальному випадку такі переваги [1]:

- а) дуже високі рівні точності і роздільна здатність за частотою;
- б) можливість вимірювання сигналів у каналі загального користування;

## ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

в) підвищена швидкість вимірювання частоти сигналів для вузької смуги частот роздільної здатності.

Крім цього можуть бути отримані додаткові переваги:

а) просте регулювання й настроювання на смуги частот, які потрібно контролювати (за допомогою ПЕОМ);

б) висока гнучкість, що дозволяє пристосовувати систему до роботи в різних смугах частот;

в) зберігання даних щодо спектрів сигналів у цифровій формі;

г) висока надійність через малу кількість механічних складників;

д) можливість передавання даних телефонними лініями з метою подальшого їх оцінювання та (чи) оброблення.

### 4.1.2.3.4 Метод лічильника частоти

Цей метод найбільше підходить для вимірювання частоти сигналів РЕЗ, центральна частота у спектрі яких виражена чітко і її легко визначити (рис. 4.5, 8.7, 8.45). Його застосування доцільне в разі вимірювання середньої частоти модульованого радіовипромінювання безперервного за часом (без пауз на інтервалі відліку), яке має достатньо високий рівень центральної частоти протягом усього часу проведення вимірювання.

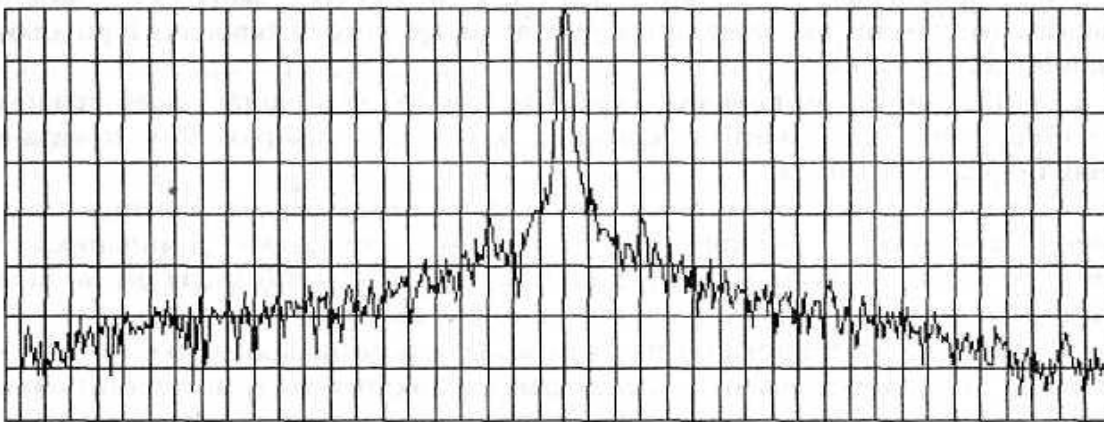


Рис. 4.5. Приклад спектра сигналу з чітко вираженою центральною частотою

Апаратно-програмний спосіб вимірювання частоти з використанням лічильника проводиться шляхом підрахунку кількості імпульсів або переходів амплітуди напруги сигналу через нульовий рівень, які формуються із сигналу ПЧ вимірювального РПП за певний інтервал часу, наприклад, за 1с. Інтервал, що визначає час проведення вимірювання, формується високоста-більніми імпульсами генератора опорної частоти. При цьому цикл роботи лічильника (інтервал дискретизації) визначається за сумою двох інтервалів часу

$$T = T_1 + T_2, \quad (4.11)$$

де  $T_1$  - інтервал проведення вимірювання (підрахунку кількості імпульсів);

$T_2$  - інтервал запису показання лічильника в програмний регістр ПЕОМ, який визначається її процесором.

За цим методом частота високочастотного коливання вимірюється аналогічно тому, як це проводиться електронно-лічильним частотоміром, при цьому, визначені подальші значення відхилення частоти від номінального значення будуть мінімальними, якщо в процесі проведення вимірювання застосувати накопичення та усереднення за частотою. Перевагою методу є висока точність вимірювання частоти, а недоліком те, що ширина спектра радіосигналу обмежується максимальною шириною смуги вимірювального

Відхилення частоти радіосигналу від номінального значення можна визначити безпосередньо за допомогою лічильника іншим методом. Радіо частота, яка приймається РПП і відхилення якої необхідно виміряти, перетворюється за допомогою синтезатора частоти в ПЧ. наприклад,

10МГц. Оскільки синтезатор керується кварцовим генератором високостабільної опорної частоти, то абсолютне значення відхилення частоти сигналу на рівні 114 відповідає відхиленню на рівні радіочастоти. Перед початком кожного вимірювання на лічильнику, який з'єднаний з каскадом ПЧ, попередньо встановлюється частота 10 МГц. Потім, під час проведення вимірювання частоти радіосигналу, лічильник реєструє в режимі зворотного відліку кількість імпульсів, які появилися протягом певного інтервалу При цьому можливі такі випадки:

1) значення вимірюваної частоти точно відповідає номінальному значенню, тому в момент завершення інтервалу вимірювання показання лічильника сягають нуля;

2) значення вимірюваної частоти менше номінального значення тому в момент завершення інтервалу вимірювання показання лічильника не досягнуть нуля, а дадуть певний додатній залишок, який після зміни знака буде відповідати від'ємному значенню відхилення частоти;

3) значення вимірюваної частоти більше номінального значення, тому показання лічильника сягають нуля до закінчення інтервалу вимірювання, що призводить до переведу лічильника в режим подальшого прямого відліку кількості імпульсів і підрахований їхній залишок у момент завершення періоду вимірювання буде відповідати значенню відхилення частоти з додатнім знаком.

Цей метод дозволяє досягти високої точності і застосовується для вимірювання частоти АМ та ЧМ сигналів. До недоліку методу відносять деякі обмеження, що накладаються в разі вимірювання частоти ЧМ сигналів на певні несприятливі комбінації з високою девіацією частоти, низькою частотою модуляції та малим інтервалом вимірювання [1].



### 4.1.3 Похибки вимірювання частоти та її відхилення

Як і під час вимірювань будь-яких фізичних величин, у разі вимірювання частоти або її відхилення від нормативного значення присутні похибки. Кожен із згаданих методів вимірювання частоти радіовипромінювання має свої переваги та недоліки, які визначаються також точністю вимірювання і впливом похибок на їхні результати.

При цьому розрізняють [1]:

- а) похибки, зумовлені методом вимірювання  $\Delta f_M/f$
- б) похибки, зумовлені модуляцією контрольованого сигналу  $\Delta f_{mod}/f$ ;
- в) похибки еталонної частоти вимірювального пристрою  $\Delta f_R/f$ ;
- г) похибки, зумовлені технічними характеристиками вимірювального пристрою, в тому числі, неточністю зчитування  $\Delta f_A/f$
- д) похибки, зумовлені зміною частоти на трасі передавання радіосигналу  $\Delta f_T/f$

Максимальна похибка визначається сумою абсолютних значень цих складників:

$$\Delta f_M/f = \pm(|\Delta f_M/f| + |\Delta f_{mod}/f| + |\Delta f_R/f| + |\Delta f_A/f| + |\Delta f_T/f|). \quad (4.12)$$

Рівні методичних похибок вимірювання частоти, що зумовлені наявністю завод та (чи) модуляцією радіосигналу, можуть контролюватися оператором радіоконтролю і, за потреби, зменшені до прийнятних значень шляхом раціонального вибору часу усереднення результатів вимірювання.

На точність вимірювання частоти під час проведення технічного радіоконтролю суттєво впливає похибка опорного генератора, яка безпосередньо визначає точність формування еталонного інтервалу часу вимірювання, і має такі складники:

- а) похибка заводського установлення частоти;
- б) похибка внаслідок старіння кварцового резонатора;
- в) похибка внаслідок випадкових змін частоти опорного генератора.

Похибка заводського установлення частоти під час регулювання вимірювального приладу після його виготовлення є похибкою систематичною, оскільки вона завжди постійна за значенням та знаком протягом усіх повторних вимірювань і виключити її з результату вимірювання практично неможливо.

Похибка, що пов'язана зі старінням кварцового резонатора, також є похибкою систематичною, але такою, що прогресує з часом. Її значення відрізняється для різних екземплярів резонаторів одного типу і знаходиться в межах від  $\pm 1 \cdot 10^{-10}$  до  $\pm 5 \cdot 10^{-10}$  за добу. Саме цей складник похибки опорного генератора і визначає, в основному, точність вимірювання частоти.

Середнє квадратичне значення похибки, яка викликана випадковими змінами частоти опорного генератора, наприклад, унаслідок впливу коливань температури оточуючого середовища та (чи) робочої напруги електроживлення, зазвичай складає  $\pm 5 \cdot 10^{-10}$  за 1 с або  $\pm 2 \cdot 10^{-10}$  за 10 с

## ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

Складник похибки вимірювання частоти радіосигналу, внаслідок наявності похибки опорного генератора, через її систематичний характер зменшити шляхом програмного усереднення показань неможливо.

За потреби отримання точніших вимірів частоти повинна бути забезпечена можливість підключення до вимірювального обладнання зовнішнього стандарту частоти, в якості якого застосовують кварцовий генератор з термостатом, сигнал станції еталонної частоти, рубідієвий генератор або сигнал GPS.

Похибки, зумовлені зміною частоти на трасі передавання радіосигналу, спостерігаються здебільшого вночі на трасах передавання довжиною понад 1000 км і сягають значення  $\pm 3 \cdot 10^{-12}$  між вимірюваною та випроміненою частотами, але в більшості випадків ці похибки незначні [1].

Оскільки похибки вимірювання частоти або її відхилення, цілком ймовірно будуть різними для різних класів радіовипромінювання, то вони повинні бути визначені для кожного класу.

Точність вимірювання частоти на станціях, використовуваних для міжнародного радіомоніторингу, регламентована Рекомендацією ITU-R SM.377 і наведена в табл. 4.2 [77].

Таблиця 4.2 – Точність вимірювання частоти на станціях, використовуваних для міжнародного радіомоніторингу

Смуга частот	Точність вимірювання частоти
Від 9 кГц до 4 МГц (за винятком радіомовних станцій)	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$ (якщо значення похибки становить менше $\pm 1$ Гц, то приймається $\pm 1$ Гц)
Від 9 кГц до 4 МГц (для радіомовних станцій)	$\pm 1$ Гц
Від 4 МГц до 29,7 МГц	$\pm 1$ Гц
Від 29,7 МГц до 2,45 ГГц (за винятком телевізійних станцій)	$\pm 0,5 \cdot 10^{-6}$
Від 47 МГц до 960 МГц (для телевізійних станцій)	$\pm 50$ Гц
Від 2,45 ГГц до 10,5 ГГц	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
Від 10,5 ГГц до 40 ГГц	$\pm 10 \cdot 10^{-6}$

Під час проведення вимірювання можуть траплятися одноразові відхилення вимірів від їхнього середнього значення, що перевищують у декілька разів середнє квадратичне значення випадкової похибки одноразового вимірювання. Такі похибки відносять до грубих. їхньою причиною можуть бути порушення умов проведення вимірювання, поява імпульсної завади, короткочасні збої в роботі обладнання чи засобів вимірювальної техніки, помилки оператора тощо. В разі виявлення грубої похибки безпосередньо під час процесу вимірювання чи в разі появи підозри, що даний результат

вимірювання параметра пов'язаний з грубою похибкою, потрібно повторити процес вимірювання цього параметра для даного РЕЗ. Якщо виявлена одноразова похибка під час аналізу отриманих даних, то можна це значення не приймати до уваги. Найкращим засобом підвищення достовірності вимірів за наявності грубих похибок є збільшення кількості вимірювань значень параметрів, що контролюються, та проведення повторних вимірювань.

## **4.2 Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності**

### **4.2.1 Особливості вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності**

Проведення радіоконтролю напруженості поля електромагнітного випромінювання, як правило, проводиться з метою [1]:

- визначення рівня електромагнітного поля сигналу та ефективності роботи ДРВ (наприклад, радіопередавача певної радіослужби в штатному режимі роботи);

- визначення ступеню впливу завад від певного навмисного джерела радіосигналів із метою вирішення питань ЕМС;

- визначення рівнів електромагнітного поля сигналів та впливу радіо-завад, викликаних ненавмисними випромінюваннями, джерелом яких може бути обладнання, що випромінює електромагнітну енергію, і оцінювання ефективності заходів щодо заглушення цих завад;

- вивчення явищ поширення радіохвиль з метою розроблення та перевірки моделей поширення;

- оцінювання рівнів небезпечних неіонізуючих випромінювань з метою забезпечення санітарних норм (див. Додаток 3);

- забезпечення виконання положень Регламенту радіозв'язку.

Нині найпоширенішим є проведення радіоконтролю напруженості поля електромагнітного випромінювання шляхом [1]:

- вимірювань, які проводяться переносними або рухомими засобами радіоконтролю для отримання відносно миттєвих або короткотермінових даних в одному чи декількох місцях;

- вимірювань, які проводяться рухомими засобами радіоконтролю для отримання статистичних даних у їхній зоні доступності;

- короткотермінових вимірювань, які проводяться на стаціонарних РКП, для доповнення даних стосовно певного радіовипромінювання;

- тривалих вимірювань, що передбачають запис і збереження результатів для наступного їх аналізу.

Одна із основних цілей вимірювання напруженості поля - це визначення зон упевненого приймання сигналів ДРВ або зони обслуговування. Нині відомо декілька методик [78, 79], які дозволяють проводити теоретичні розрахунки зони обслуговування, однак їхні результати мають наближений характер через неможливість урахування усіх конкретних особливостей

поширення радіохвиль у досліджуваній зоні та обмежень, які накладаються недостатньою повнотою й точністю цифрових карт місцевості. Тому експериментальні вимірювання напруженості поля за допомогою стаціонарних або рухомих комплексів радіомоніторингу залишаються необхідним етапом процесу планування й експлуатації радіомереж рухомого зв'язку та систем радіомовлення.

Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання базується, головним чином, на визначенні реакції приймальної антени на електричні або магнітні поля, які на неї діють, оскільки електричне поле певної напруженості  $E$  завжди наводить відповідне значення напруги  $U$  в антені, яка в цьому полі знаходиться. Зв'язок між напруженістю поля і наведеною в антені напругою є функцією, залежною від частоти. На практиці зручно вимірювати напруженість поля електричного складника електромагнітного поля, тому у більшості випадків, коли мовиться про напруженість поля електромагнітного випромінювання, то мається на увазі величина (модуль) його електричного складника  $E$ .

Для вимірювання рівнів напруженості поля використовують приймальні антени з відомими показниками ефективності їхньої роботи. Під ефективністю  $K_e$  (коефіцієнтом перетворення) приймальної антени мають на увазі відношення напруженості електричного поля  $E$  плоскої хвилі до напруги на виході антени  $U$  за умови її номінального навантаження (50 Ом або 75 Ом)

$$K_e = E/U. \quad (4.13)$$

Часто замість значення ефективності антени вказують її коефіцієнт підсилення  $G$ , відносно ізотропної антени або коефіцієнт підсилення  $G_d$  відносно напівхвильового вібратора.

Взаємозв'язок між цими параметрами для певного значення частоти електромагнітного коливання і типового номінального навантаження антени 50 Ом визначається виразами

$$K_a = \frac{f}{30,81 \sqrt{G_i}} \quad (4.14)$$

$$K_a = \frac{f}{39,47 \sqrt{G_d}} \quad (4.15)$$

або в логарифмічній формі

$$k_e = 20 \log K_e \quad (4.16)$$

і відповідно

$$k_e = -29,77 \text{ (дБ)} - g_i + 20 \log f, \quad (4.17)$$

$$k_e = -31,93 \text{ (дБ)} - g_d + 20 \log f, \quad (4.18)$$

де  $f$  – частота, МГц;

$$g_i = 10 \log G_i \text{ та } g_d = 10 \log G_d.$$

Практично реакцію приймальної антени на певний рівень напруженості поля  $E$  електромагнітного випромінювання можна виявити, наприклад, за допомогою з'єднаного з нею фідером РПП, а саме - через відповідний рівень

напруги  $U$  на його вході. При цьому, аналіз дії електромагнітного поля необхідно проводити з обов'язковим урахуванням як характеристик поля, так і характеристик самої антени та фідера, що з'єднує її з РПП, маючи на увазі те, що ефективність антени не враховує затування, що вносить фідер.

Таким чином рівень напруженості поля  $e$  (у логарифмічній формі) може бути представлений виразом [1, 79]

$$e = u + ke + k\beta \quad (4.19)$$

де  $u = 20 \log U$  - рівень напруги на вході РПП, дБ(мкВ);

$ke$  - ефективність антени, дБ(м<sup>-1</sup>);

$k\beta$  - затування, що вносить фідер, дБ.

На практиці напруженість поля характеризують логарифмічною одиницею виміру - дБ(мкВ/м), тобто оцінюють у децибелах відносно рівня

1 мкВ/м, хоча для стислості часто вказують розмірність лише в децибелах.

На частотах понад 1 ГГц більш практичним є вимірювання густини потоку потужності, яка характеризує ефективність напруженості поля електромагнітного випромінювання.

Одиницею виміру густини потоку потужності є Вт/м<sup>2</sup>, хоча на практиці частіше вживають логарифмічну одиницю - дБ(пВт/м<sup>2</sup>), тобто оцінюють у децибелах відносно 1\*10<sup>-12</sup> Вт/м<sup>2</sup>.

Густина потоку потужності  $P$  у ватах на квадратний метр пов'язана з напруженістю електричного поля виразом [78]

де  $E$  — напруженість поля, мкВ/м.

Густина потоку потужності  $P$  у мікроватах на квадратний сантиметр пов'язана з напруженістю електричного поля виразом

$$P = \frac{E^2}{3,77}, \quad (4.21)$$

де  $E$  - напруженість поля, В/м,

або в децибелах відносно вата на квадратний метр

$$P = E - 145,8, \quad (4.22)$$

де  $E$  — напруженість поля в децибелах відносно мікровольт на 1 м.

За відомим значенням густини потоку потужності можна обчислити потужність сигналу у ватах на виході приймальної антени

$$P_a = P S_a, \quad (4.23)$$

де  $P$  — густина потоку потужності, Вт/м<sup>2</sup>;

$S_a$  — ефективна площа антени (м<sup>2</sup>), яка дорівнює

$$S_a = \frac{G_d \lambda^2}{8}, \quad (4.24)$$

де  $G_d$  - коефіцієнт підсилення антени відносно напівхвильового вібратора;  $\lambda$  — довжина хвилі, м.

Напруженість електромагнітного поля вимірюють, використовуючи такі засоби виміральної техніки та метрологічне обладнання [1]:

а) калібровану антену з відомими характеристиками;

б) ланцюг зв'язку та (чи) лінію передавання (фідер);

в) вимірвальний РПП або аналізатор спектра, який має:

- пристрої попередньої селекції та послаблення сигналів, наприклад, ступінчасті атенюатори для регулювання чутливості;

- підсилювач перед головним змішувачем та фільтром ПЧ (перевагу мають фільтри з малим відношенням значень ширини смуги пропускання на рівнях 60 дБ та 6 дБ);

- детектор та індикатор;

г) джерело каліброваного сигналу, яким може бути, наприклад, генератор неперервного стандартного сигналу, генератор випадкового шуму або імпульсний генератор, який може входити до складу РПП або аналізатора спектра.

Обладнання, яке застосовується для вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання, повинно забезпечувати:

- отримання вимірів пропорційних середньоквадратичному значенню напруженості поля радіочастотного сигналу;

- повторюваність вимірів (можливість проведення багаторазових вимірювань протягом тривалого часу без повторного калібрування самого обладнання або його складових частин);

- високу точність (виміри, отримані у постійному за рівнем полі, наприклад, незалежно двома операторами на різних засобах радіоконтролю повинні бути однаковими);

- динамічний діапазон не менше 60 дБ;

- можливість збереження отриманих даних для їх аналізу;

- можливість управління процесом контролю та оброблення даних за допомогою ПЕОМ.

Наземні рухомі засоби радіоконтролю, крім цього, повинні мати додаткове навігаційне обладнання для забезпечення "прив'язки" вимірів до конкретних географічних координат.

Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності класифікують, як правило, за трьома діапазонами частот: до 30 МГц, від 30 МГц до 1 ГГц і понад 1 ГГц. Такий поділ викликаний, по-перше, тим, що оптимальні методи вимірювань у цих діапазонах суттєво різняться, що зумовлено в певній мірі співвідношенням між розмірами антен, які використовуються під час проведення вимірювання, і довжиною хвилі контрольованого радіосигналу, по-друге, різним впливом на виміри рельєфу місцевості.

В діапазоні частот до 30 МГц ( $\lambda$ - понад 10 м) використовувані вимірвальні антени мають незначні порівняно з довжиною хвилі розміри (близько  $0,1\lambda$ ). Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання, як правило, проводяться на висотах, близьких

до електропровідної поверхні Землі, тому земна поверхня та рослинність, дроти й будівлі в зоні проведення вимірювань по різному впливають на напруженість електричного та магнітного складників поля й кут поляризації. При цьому вони можуть також впливати і на значення повного опору АФС. Особливо суттєво піддаються впливу навколишнього середовища штирові антени.

В діапазоні частот від 30 МГц до 1 ГГц (довжина хвилі  $\lambda$  - від 10 м до 0,3 м) використовувані вимірювальні антени мають розміри порівняні з довжиною хвилі.

В діапазоні частот понад 1 ГГц (довжина хвилі  $\lambda$  — до 0,3 м) площа розкриття симетричного вібратора стає занадто малою для забезпечення необхідної чутливості, тому на цих частотах, як правило, застосовують антени, які збирають енергію від розкриттів, наприклад, рупорні антени або системи параболічних відбивачів. Ці антени зазвичай характеризуються високою ефективністю (понад 50 %) і спрямованістю. При цьому застосовуються як коаксіальні, так і хвилевідні лінії передавання. На частотах, більших декількох гігагерц, важливого значення набуває рівень коефіцієнта підсилення антени, особливо в разі приймання слабких сигналів, внаслідок малої ефективності антен і через високі значення утрат у коаксіальних і хвилевідних лініях передавання. Збільшення значення коефіцієнта підсилення антени можна отримати шляхом додаткового застосування параболічного відбивача. При цьому на частоті 10 ГГц можна забезпечити підсилення АФС понад 25 дБі, застосовуючи відбивач із діаметром близько 1 м, і до 60 дБі з відбивачем більшого діаметра [1]. АФС із високим значенням коефіцієнта підсилення вимагають ретельного направлення на ДРВ у горизонтальній та вертикальній площинах для того, щоб забезпечити приймання максимального рівня сигналу корисного радіовипромінювання. Наприклад, для приймання сигналів від космічного апарата антенна щогла повинна мати можливість ручного чи автоматичного регулювання у вертикальній площині в діапазоні від майже  $0^\circ$  до  $90^\circ$  і в межах повних  $360^\circ$  за азимутом.

Під час вимірювання напруженості поля із застосуванням гострона-правлених антен важливо, щоб траса основного напрямку поширення сигналу була вільною від перешкод, а багатопрорізне приймання було мінімально можливим. У випадках коли застосовується антена з високим значенням відношення підсилення за головною та задньою пелюстками ДН (наприклад, антени з відбивачами параболічного типу), джерела відбивання чи пере-випромінювання радіохвиль, які знаходяться за антенною решіткою, на результати вимірювання суттєво не впливають.

Нині недостатньо визначена верхня частотна межа для успішного вимірювання напруженості поля, але, як відмічено у [1], методи, що використовуються на частотах понад 1 ГГц, можуть успішно застосовуватися і на будь-якій більшій частоті в разі наявності каліброваних вимірювальних РПП і точних атенуаторів.

Точність вимірювання в разі застосування комплексу складного обладнання, якщо не відомі всі технічні дані про нього, а також про кабельні з'єднання, залишається не передбачуваною. Тому складові частини обладнання для вимірювання напруженості поля обов'язково калібрують, наприклад, шляхом прямого порівняння даних за результатами вимірювання з показаннями стандартного вимірювача напруженості поля або генератора стандартних сигналів із відомими та стабільними характеристиками.

Процес калібрування, як правило, включає окреме калібрування вимірювального приладу (РПП, аналізатора спектра чи стандартного вимірювача напруженості поля) та АФС і є наслідком цілої серії вимірювань, оскільки характеристики засобу вимірювальної техніки являються функціями частоти та рівня сигналу. Для прямої індикації числового значення напруженості поля у вимірювальній РПП або в ПЕОМ, яка керує його роботою, можуть бути занесені значення ефективності каліброваних антен та індивідуальні дані затухань, що вносяться їхнім фідером. У сучасному обладнанні з мікропроцесорним управлінням джерело калібрування, як правило, входить до складу вимірювального РПП чи вимірювача напруженості поля і, крім цього, в цих приладах передбачені вбудовані функції власного калібрування та діагностики з метою завчасного виявлення погіршення похибок і запобігання накопиченню помилкових даних протягом тривалого часу. Калібрування АФС, як правило, проводиться їхнім виробником. Оскільки, згідно з формулою (4.19) на точність вимірювання напруженості електромагнітного поля суттєво впливають значення ефективності антени  $k_e$  та рівень затухання  $k_z$  що вноситься фідером, і які залежать від частоти випромінювання, то визначення коефіцієнтів  $k_e$  та  $k_z$  у робочому діапазоні АФС і є основним завданням її калібрування.

У процесі проведення радіоконтролю напруженості поля рекомендується дотримуватися такого [1]:

- 1) якщо вимірювальна антена знаходиться на висоті від 1,5 м до 3 м, то результат слід вважати, як отриманий з антеною, розміщеною на висоті 3 м;
- 2) оскільки радіосигнал, напруженість поля якого потрібно виміряти, може приходити на вимірювальну антену з різних напрямків, то потрібно перед вимірюваннями проаналізувати ДН антени, щоб знати її вплив на виміри;
- 3) точність визначення ефективності антени повинна бути в межах 1 дБ;
- 4) похибка визначення ДН вимірювальної антени у горизонтальній площині повинна бути не більше 3 дБ.

### 4.2.2 Методи вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності

Усі методи вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності базуються на застосуванні співвідношення



$$E=U/hd$$

де  $E$  - напруженість поля, В/м;

$U$  - електрорушійна сила (ЕРС), наведена в антені, В;

$hd$  — діюча висота (або довжина) приймальної антени, м.

Діюча висота приймальної антени - це відношення напруги холостого ходу на виході не навантаженої антени до напруженості електромагнітного поля, в якому знаходиться антена. При цьому мається на увазі, що антена орієнтована на максимальний рівень сигналу з урахуванням її напрямлених властивостей і поляризації, а значення опору навантаження дорівнює безкінечності, оскільки в цьому випадку напруга на виході антени відповідає ЕРС, наведеній полем в антені. Зазвичай на практиці ця умова не виконується, тому що для узгодження потрібна рівність вхідного опору антени й опору навантаження, тому напруга на виході антени обчислюється за формулою

$$U_0 = \frac{U R_n}{R_a + R_n}, \quad (4.26)$$

де  $R_n$  - опір навантаження;

$R_a$  — вихідний опір антени.

Таким чином, за реальних умов проведення вимірювання замість відомого значення діючої висоти антени треба використовувати значення

$$h_{d \text{ розр}} = \frac{h_d}{1 + \frac{R_a}{R_n}}, \quad (4.27)$$

і обчислювати напруженість поля за формулою

$$E = \frac{U}{h_{d \text{ розр}}}, \quad (4.28)$$

З (4.21) та (4.24) випливає, що в будь-яких вимірювачів напруженості поля обов'язково повинні бути антена та вольтметр.

Методи вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання і густини потоку потужності, які використовують під час проведення технічного радіоконтролю, поділяють на дві категорії:

1) звичайні методи, метою яких є досягнення оптимальної точності відповідно до Рекомендації ІТУ-Р SM.378 [54];

2) прискорені методи, для яких прийнятна нижча точність з урахуванням мети, з якою будуть використовуватися виміри, і коли спрощені процедури та (або) обладнання дозволяють швидше і зручніше виконати вимірювання.

Як правило, звичайні методи застосовуються для збирання даних із науковою метою або з метою контролю за дотриманням регламентних положень (наприклад, для вивчення питань поширення радіохвиль,

спостереження за напруженістю поля, вимірювання ДН антен і ступеня послаблення гармонік або побічних сигналів разом із вимірюваннями, що проводяться у випадку наявності радіозавад від зарубіжних ДРВ).

Прискорені методи застосовуються на стаціонарних РКП в основному під час вимірювання інших параметрів радіовипромінювання, коли прийнятна апроксимація рівня напруженості поля, а не її точніші вимірювання, наприклад, у разі орієнтовного оцінювання рівня сигналу.

В залежності від частоти радіовипромінювання вимірювання напруженості поля мають свої специфічні особливості і проводяться різними методами.

Для вимірювання напруженості поля в основному вживають метод еталонної антени або метод генерації еталонного поля. Під час вимірювання за першим методом використовують антену з відомою залежністю між рівнем напруженості електромагнітного поля й напругою, яку створює це поле в антені. За другим методом, використовуючи генератор еталонного поля, порівнюють невідому напруженість поля з напруженістю поля, створювану генератором.

Оскільки напруженість поля електромагнітного випромінювання змінюється в просторі та з часом, то визначити залежність напруженості поля з часом можна за допомогою вимірювання напруженості поля з використанням антени, розміщеної в стаціонарному пункті радіомоніторингу, де вона має строго фіксовані положення на земній поверхні, напрямок і висоту. В той же час рухомі комплекси радіомоніторингу, які також забезпечують вимірювання напруженості поля, мають переваги перед стаціонарними, оскільки можуть використовуватися також як стаціонарні (на стоянці), значить з їхньою допомогою можна проводити вимірювання як просторового, так і часового розподілу напруженості поля.

В багатьох випадках, із метою прогнозування значення напруженості поля в діапазонах УВЧ/НВЧ, надають перевагу вимірюванню напруженості поля в деяких пунктах із різною висотою встановлення вимірювальної антени. Це досягається шляхом переміщення рухомого комплексу радіомоніторингу з одного пункту в інший і вимірювання напруженості поля на потрібних частотах за різної висоти вимірювальної антени. Як правило, антена встановлюється на телескопічній щоглі на висоті 10 м над землею поверхнею і, враховуючи характеристики поширення радіохвиль у цих діапазонах, підстроюється за напрямком та поляризацією.

В результаті впливу на радіосигнали умов приймання реальні рівні напруженості поля можуть суттєво відрізнятись від прогнозованих значень, тому вони повинні перевірятися за допомогою вимірювань, при цьому результати повинні реєструватися разом із географічними координатами місця проведення радіоконтролю. Оскільки приймання радіосигналів передавачів цифрових мереж чутливе до явищ відбивання радіосигналів, то, у цьому випадку, крім вимірювання рівня сигналу необхідно також проводити

## ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

---

визначення якості приймання шляхом вимірювання коефіцієнта помилок у бітах (BER) або вимірювання імпульсної характеристики каналу (CIR) [1].

### **4.2.3 Похибки вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання й густини потоку потужності та способи їх зменшення**

Значення максимальної похибки вимірювання напруженості електромагнітного поля для станцій міжнародного радіоконтролю наведені в Рекомендації ITU-R SM.378: не більше  $\pm 2$  дБ на частотах до 30 МГц включно і не більше  $\pm 3$  дБ на частотах понад 30 МГц [54].

В цій Рекомендації також наведено деякі важливі уточнення щодо зазначених похибок, а саме: вони чинні лише за умови відсутності впливу на виміри значних рівнів атмосферних і (чи) власних шумів РПП, зовнішніх радіозавод і (чи) інтерференції хвиль. Загалом точність вимірювання напруженості електромагнітного поля залежить також від впливу багатьох інших чинників: класу радіовипромінювання, рівня сигналу та стабільності його частоти, типу детектора вимірювального РПП, умов вимірювання (лабораторні чи польові), рельєфу місцевості, де проводяться вимірювання, наявності оточуючих предметів тощо.

У процесі проведення технічного радіоконтролю напруженості поля на стаціонарних РКП, для яких вага засобів вимірювальної техніки і допоміжного обладнання та споживана ними від мережі електроживлення потужність не є визначальними, можуть використовуватися як стандартні вимірювачі напруженості поля, так і автономні вимірювальні прилади та допоміжне обладнання (РПП, генератори, пристрої індикації, атенюатори тощо), об'єднані в певну вимірювальну систему під управлінням ПЕОМ. При цьому необхідно мати на увазі, що складне вимірювальне обладнання вимагає підвищеної кваліфікації персоналу і, крім цього, може стати джерелом додаткової похибки вимірювання. В рухомих засобах радіоконтролю найчастіше застосовуються вимірювальні РПП та портативні ПЕОМ (для управління процесом вимірювання, відображення й збереження результатів).

Вбудовані в сучасні мікропроцесорні вимірювальні РПП калібрувальні генератори та точні атенюатори, а також наявність в них автоматичного калібрування й можливості встановлення необхідного діапазону вимірювання можуть забезпечити похибки вимірювання напруги на вході до 1 дБ у діапазоні частот від 9 кГц до 3 ГГц та в досить широкому температурному діапазоні. Разом із досяжною точністю калібрування антени близько 1 дБ результуюча точність повної автоматизованої системи вимірювання напруженості поля може складати  $\pm 2$  дБ у всьому діапазоні частот, що цілком відповідає Рекомендації ITU-R SM.378.

З метою отримання якомога точніших вимірів Рекомендація ITU-R SM.378 пропонує [54]:

1) на частотах до 30 МГц застосовувати рамкову або вертикальну штирову антену, причому останню - з протывагою, яка може складатися, наприк-

лад, із групи радіальних провідників, довжина яких не менша подвоєної довжини самої антени, рознесених не більше, ніж на  $30^\circ$  та ізольованих від землі;

2) на частотах від 30 МГц до 1 ГГц застосовувати приймальну антену з тією ж поляризацією, що і передавальна антена передавача, напруженість поля сигналу якого контролюється, при цьому бажано, щоб антена знаходилася на висоті не менше 10 м над земною поверхнею;

3) на частотах понад 1 ГГц застосовувати переважно направлені антени, що дозволить збільшити відношення сигнал/завада;

4) застосовувати вимірювальні РПП, які мають стабільні параметри щодо частоти й ширини смуги частот, підсилення та ослаблення сигналів, а їхні гетеродини - низький рівень шуму з метою запобігання маскуванню слабких сигналів;

5) калібрувати, в разі наявності такої можливості, антену і її фідер спільно з РПП, причому антени стаціонарних РКП потрібно калібрувати періодично згідно з рекомендаціями виробника або відповідно до вимог технічного обслуговування;

б) проводити періодичний огляд АФС із метою виявлення механічних пошкоджень, а після ремонту - обов'язково нове калібрування.

Потрібно також застосовувати АФС із відомими значеннями затухань, що вносяться фідером, у всьому частотному діапазоні вимірювання, при цьому необхідно мати на увазі, що затухання рівня сигналу залежать від типу кабелю, його довжини та частоти. На рис. 4.6 наведено залежності погонного затухання (на 1 м довжини) від частоти для деяких марок кабелю, з яких видно, що рівень затухання сигналу в кабелі, а значить і його коефіцієнт шуму ростуть із збільшенням частоти. Крім цього із збільшенням довжини кабелю його коефіцієнт шуму також збільшується. Наприклад, якщо втрати в кабелі на частоті 2 ГГц складають 0,5 дБ/м, то кабель довжиною 30 м буде мати коефіцієнт шуму 15 дБ [10].

У зв'язку з цим бажано застосовувати кабелі з якомога меншими довжиною та затуханням, хоча при цьому потрібно мати на увазі, що вартість кабелів із малими втратами досить висока. Конструктивно для зменшення впливу коефіцієнта шуму кабелю доцільно встановлювати вимірювальний РПП якомога ближче до приймальної антени або застосовувати підсилювач із малим рівнем шуму і розміщувати його безпосередньо біля антени.

Хвильовий опір самого фідера повинен бути обов'язково погоджений із вхідним опором РПП та номінальним опором навантаження антени.

Оскільки кабелі фідерів унаслідок переміщень (особливо в разі роботи антени на виносній щоглі мобільного комплексу радіомоніторингу) можуть перекручуватися та отримувати пошкодження ізоляції, то потрібно регулярно перевіряти стабільність їхніх характеристик [79].

На результати вимірювання напруженості поля на частотах до 1 ГГц суттєво впливають електромагнітні хвилі, відбиті від земної поверхні та оточуючих предметів. За даними Рекомендації СЕРТ/ЕРС 74-(02) в залежності від висоти приймальної антени векторна сума синфазних прямої та

відбитої хвиль може призвести до збільшення виміру на значення до 6 дБ, а сума протифазних хвиль - до його зниження на значення до 50 дБ. Тому для часткового зменшення впливу на результати вимірювання напруженості поля мобільним комплексом радіомоніторингу рельєфу місцевості та оточуючих предметів місце їхнього проведення необхідно вибирати таким чином, щоб електромагнітне поле джерела випромінювання, що контролюється, спотворювалося якомога менше. Для цього поблизу місця проведення радіоконтролю повинно бути якомога менше відкритих телефонних ліній та ліній електропередач, антен, будівель з металевими водостічними ринвами та (чи) дахами або вони повинні знаходитися на відстані не меншій десятикратної довжини хвилі, на якій проводяться вимірювання [79].

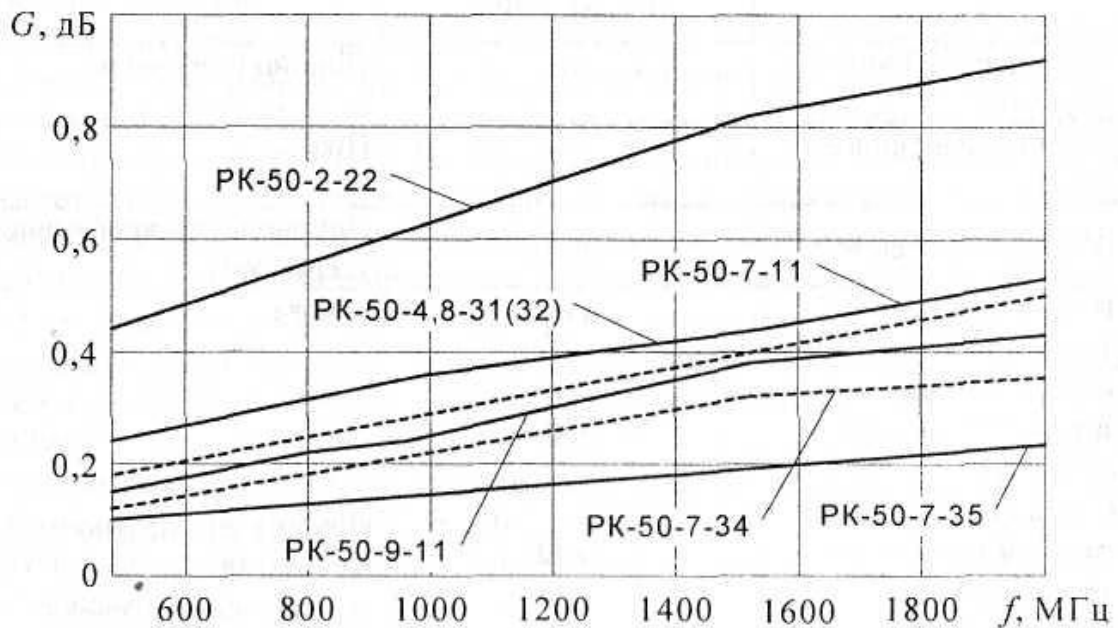


Рис. 4.6. Залежність затухання в коаксіальних кабелях від частоти

У процесі проведення вимірювання з метою виявлення можливого впливу на виміри радіозавад і сторонніх радіовипромінювань та порушення нормальних умов проведення радіочастотного контролю, доцільно:

- контролювати на слух стабільність режиму роботи РЕЗ;
- спостерігати за формою обвідної спектра сигналу й характером зміни форми обвідної спектра та миттєвої частоти сигналу.

Якщо під час проведення вимірювання будуть виявлені зміни у вимірах унаслідок впливу радіозавади або стороннього випромінювання, то необхідно, дочекавшись кінця дії цього впливу, зберегти ці виміри для наступного їх аналізу.

В разі спостереження за модульованим радіовипромінюванням важливо знати ширину смуги частот сигналу та статистичну функцію детектора (лінійно усереднену, логарифмічно усереднену, пікову, квазіпікову, середньо-квадратичну). Смуга частот пропускання РПП повинна бути достатньо

## ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

широкою, щоб забезпечити приймання сигналу, який контролюється, разом з основними складниками його спектра, у той же час необхідно остерігатися надмірної смуги частот пропускання з тим, щоб уникнути впливу завад із суміжних каналів. Тип детектора повинен забезпечувати вимірювання, наприклад, несучої частоти сигналу. У табл. 4.3 наведені рекомендовані для деяких видів радіочастотних сигналів функції детектора та значення мінімальної ширини смуги частот контролю [1].

Таблиця 4.3 - Рекомендовані функції детектора та значення мінімальної ширини смуги частот контролю для деяких видів радіочастотних сигналів

Вид сигналу	Ширина смуги частот, кГц, не менше	Функція детектора
АМ із двома бічними смугами	10	Лінійно усереднена
АМ з однією бічною смугою	2,4	Пікова
ЧМ радіомовлення	120	Лінійно чи логарифмічно усереднена
Несуча частота телевізійного сигналу	120	Пікова
Сигнал системи мобільного зв'язку (GSM)	300	Пікова в разі наявності радіозавад, середньоквадратична в зоні покриття
Сигнал універсальної системи мобільного зв'язку (UMTS)	3840	
Цифрове звукове радіомовлення (DAB)	1500	
Сигнал транкінгового зв'язку (TETRA)	30	Лінійно чи логарифмічно усереднена
Вузькосмуговий ЧМ із рознесенням каналів: - 12,5 кГц 25 кГц	7,5 12	

Для того щоб оцінити стабільність отриманих даних і вибрати надійніші виміри, бажано повторити процедуру вимірювання на контрольованій частоті не менше трьох разів протягом однієї робочої зміни. Доцільно також регулярно проглядати та аналізувати збережені в архівах виміри з метою визначення характеру змін з часом відхилень напруженості поля чи густини потоку потужності.

### 4.3 Вимірювання ширини смуги частот і рівнів позасмугових випромінювань

#### 4.3.1 Вплив ширини смуги частот випромінювання на якість радіозв'язку та основні методи її вимірювання

Для досягнення заданого рівня якості зв'язку потрібно, щоб спектр випроміненого сигналу відтворювався на приймальній стороні з певною точністю. Чим більше відмінностей між вихідним, і відтвореним спектрами, тим гірша якість обслуговування операторами зв'язку. З іншого боку, спектральні складники від інших ДРВ, які приймаються разом із корисним сигналом, призводять до погіршення якості внаслідок спотворення спектра вихідного сигналу.

З точки зору економії РЧС залежно від співвідношення між шириною займаної смуги радіочастот та шириною необхідної смуги відповідно до Рекомендації ITU-R SM.328 розрізняють три види випромінювання: досконале, недосконале та вузьке [66]. На рис. 3.1 випромінювання в необхідній смузі частот відзначені вертикальним штрихуванням, а в займаній смузі - горизонтальним. Випромінювання досконале, якщо займана смуга радіочастот для даного класу радіовипромінювання повністю збігається з необхідною (рис. 3.1, *а*). Якщо ширина займаної смуги радіочастот переважає ширину необхідної, то випромінювання є недосконалим (рис. 3.1, *в*). У випадку, коли ширина займаної смуги радіочастот менша ширини необхідної, то випромінювання займає вузьку смугу частот, ніж досконале (рис. 3.1, *б*). Нині термін "досконале випромінювання" діючими стандартами та іншими нормативними документами не регламентований, тому в науково-технічній літературі зустрічаються його синоніми - оптимальне випромінювання або узгоджене випромінювання.

В більшості випадків, радіовипромінювання РЕЗ відносяться до недосконалих (рис. 3.1, *в*), що негативно позначається на вирішенні проблем, пов'язаних із необхідністю забезпечення ЕМС. У випадку вузьких випромінювань ЕМС РЕЗ покращується, але в цьому випадку можливі втрати інформації через спотворення повідомлень, що передаються, та зниження швидкості передавання. Для покращення умов ЕМС необхідно приймати заходи стосовно зменшення ширини необхідної смуги радіочастот, наприклад, за рахунок вибору відповідного класу радіовипромінювання, виду модуляції, оптимізації якості та швидкості повідомлень, що передаються, тощо. Очевидно, що для того, щоб можна було сформулювати вимоги до якості обслуговування та до ЕМС РЕЗ у виді фізичних величин, необхідно належним чином визначити займану ширину смуги частот радіовипромінювання з тим, щоб мати можливість її порівняти з необхідною.

Нині існують два основні підходи щодо оцінювання ширини займаної смуги частот радіовипромінювання:

- пряме оцінювання ширини смуги частот шляхом її безпосереднього вимірювання;

- побічне (непряме) оцінювання ширини смуги частот.

Безпосереднє вимірювання ширини займаної смуги частот найчастіше проводять за критерієм відношення потужностей (енергетичний критерій) або за критерієм  $X$  дБ („рівневий" критерій). З позиції ефективності використання РЧС енергетичний критерій оцінювання ширини смуги частот, фактично зайнятої радіовипромінюванням, не має суттєвих переваг перед „рівневим". Численні вимірювання та дослідження доказали неефективність орієнтації на нормування й контроль ширини займаної смуги частот, визначеної тільки за енергетичним критерієм, оскільки ширину займаної смуги частот часто практично неможливо безпосередньо зафіксувати на спектрі випромінювання через те, що вимірювання завжди піддані значним похибкам унаслідок впливу шумів, радіозавад тощо. Крім цього, на результати вимірювання суттєво впливають значні інструментальні похибки, які досить важко усунути. Разом із тим відмінності у вимірах із застосуванням цих методів складають від 5 % до 7 %, що є прийнятним для їх практичного застосування [68].

Побічне оцінювання ширини займаної смуги частот радіовипромінювання базується на її визначенні за результатами вимірювання параметрів цього радіовипромінювання, залежних від ширини цієї смуги частот, таких як, наприклад, рівня затухання спектра поза смугою частот, середньо-квадратичного значення девіації частоти сигналу, часу наростання імпульсу, тощо [2]. В деяких випадках, наприклад, у разі наявності шумів та радіозавад ці параметри часто можуть бути виміряні з більшою точністю, ніж ширина самої смуги.

Метод, заснований на вимірюванні крутизни спадання позасмугового спектра, базується на обчисленні рівнів спектральної густини потужності на межах займаної смуги частот за відомим відсотковим значенням  $\beta/2$  та виміряним значенням крутизни спадання обвідної спектра поза смугою частот (якщо відомий закон зміни спектральної густини потужності за межами смугового спектра), з наступним вимірюванням ширини смуги на цих рівнях. У більшості випадків поблизу межі займаної смуги частот спектральна густина потужності фактичного випромінювання спадає майже лінійно (в децибелах на одиницю частоти). На базі цієї характеристики ширину займаної смуги частот можна визначити за допомогою вимірювання крутизни спадання обвідної спектра (кута нахилу обвідної) і подальшого обчислення рівня спектра на певній частоті. Перевага цього методу полягає в тому, що в разі відомого розподілу спектра та виміряного кута нахилу обвідної спектра ширина смуги частот може бути визначена навіть за наявності суттєвого рівня шумів та радіозавад.

Для класів радіовипромінювання, у яких ширина займаної смуги частот строго залежить від відносного часу наростання імпульсного сигналу (відношення часу наростання сигналу до тривалості імпульсу на рівні половини амплітуди цього сигналу), вживається метод визначення ширини смуги частот радіовипромінювання на основі встановлення відносного часу



наростання імпульсу. Даний метод базується на вимірюванні відносного часу наростання найкоротшого за тривалістю імпульсу відомими методами з наступним розрахунком ширини займаної смуги частот радіосигналу.

Метод із застосуванням середньоквадратичного значення девіації частоти сигналу вживається для визначення ширини займаної смуги частот ЧМ радіосигналів. Він базується на залежності ширини займаної смуги частот деяких ЧМ випромінювань від середньоквадратичної девіації частоти сигналу. Відрізняється простотою, оскільки не потребує спеціального вимірювального обладнання, але його результати не відрізняються високою точністю. В Україні методи, що базуються на побічному (непрямому) оцінюванні ширини смуги частот практичного поширення не набули.

Нині вимірювання ширини смуги частот базується на застосуванні сучасних вимірювальних РПП із цифровим обробленням сигналу, що дозволяє визначати ширину смуги частот, як методом за критерієм X дБ, так і методом за критерієм відношення потужностей. Останній передбачає вимірювання ширини смуги частот незалежно від модуляції сигналу, тому рекомендують [1] віддавати йому перевагу особливо в разі вимірювання ширини смуги цифрових сигналів, коли їхнє технічне розпізнавання утруднене або неможливе, і в разі низьких відношень сигнал/шум. У той же час у разі наявності радіозавад треба віддавати перевагу вимірюванням ширини смуги частот за критерієм X дБ.

#### 4.3.2 Метод вимірювання ширини займаної смуги частот за критерієм відношення потужностей

Згідно з визначенням ширини займаної смуги частот (див. підрозділ 3.4) її оцінювання необхідно проводити за результатами вимірювання спектральної густини потужності радіовипромінювання.

На рис. 4.7 наведений графік обвідної енергетичного спектра - частотна залежність спектральної густини потужності умовного радіовипромінювання, що контролюється, за умови відсутності радіозавад.

Згідно з Рекомендацією ITU-R SM.328 визначення ширини займаної смуги частот за даним методом проводиться шляхом обчислення відношення всієї (загальної) потужності радіовипромінювання до потужності за межами смуги з

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{\infty} S(f) \cdot df &= P \\ \int_0^{f_1} S(f) \cdot df &= P \cdot \beta/2 \\ \int_{f_2}^{\infty} S(f) \cdot df &= P \cdot \beta/2 \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

граничними частотами  $f_1$  і  $f_2$ , різниця яких і визначає ширину займаної смуги [66]. Для знаходження значень частот  $f_1$  і  $f_2$  потрібно розв'язати систему рівнянь [9]:

## ВИМВІМІРЮВАННЯ ТА КОНТОРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

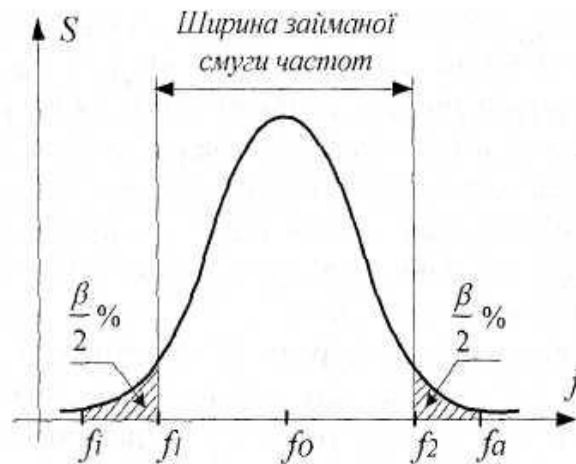


Рис. 4.7. Графік частотної залежності спектральної густини потужності умовного радіовипромінювання

Якщо в нормативних документах або Рекомендаціях ІТУ-Р для певного класу радіовипромінювання значення частини потужності випромінювання, що відповідає заштрихованим частинам спектра за нижньою  $f_1$  та верхньою  $f_2$  межами смуги частот, не вказане, то приймається по  $0,5\beta\%$  від загальної потужності випромінювання.

Зрозуміло, що в реальних умовах оцінювання ширини зайнятої смуги частот радіовипромінювання, інтегрування його енергетичного спектра не може проводитися в межах всієї осі частот (від 0 до  $\infty$ ), а повинне бути обмежене областю з певними границями  $f_n$  та  $f_e$  для виключення впливу на результати вимірювання великої кількості сторонніх радіовипромінювань, в тому числі, радіозавод та шумів. Тому перед виконанням розрахунків необхідно в системі рівнянь (4.29) визначити такі границі області інтегрування, в яких забезпечуються найточніші вимірювання.

З практичної точки зору межі області інтегрування енергетичного спектра випромінювання, що підлягає контролю, повинні бути вибрані, виходячи з таких суперечливих умов:

-для того щоб уникнути заниження результатів оцінювання ширини зайнятої смуги частот через обмеження області інтегрування, ці границі повинні бути достатньо широкими;

-для того щоб уникнути завищення результатів оцінювання ширини зайнятої смуги частот унаслідок впливу можливих наявних сторонніх випромінювань та шумів, ці границі повинні бути обмеженими.

Для контролю можливої похибки вимірювання, пов'язаної з обмеженнями області інтегрування, в цій методиці використовується ітераційна процедура вибору оптимальних границь інтегрування спектра, яка полягає в тому, що під час вимірювання проводять поступове зменшення області інтегрування, яке спочатку не призводить до зміни результатів обчислень ширини зайнятої смуги частот, а після досягнення певних границь, подальше зменшення області інтегрування починає призводити до заниження

результатів оцінювання ширини займаної смуги. Ці границі й приймаються за оптимальні. Таким чином, шляхом послідовних наближень можна визначити область інтегрування з межами близькими до оптимальних (мінімально необхідними). Але в реальних умовах проведення вимірювання така ситуація не завжди можлива і залежить від рівня радіовипромінювання, що контролюється. Якщо шляхом ітерацій не вдається встановити оптимальну область інтегрування, то це значить, що відношення сигнал/завада недостатнє для надійного оцінювання ширини займаної смуги частот. Необхідно відмітити, що в загальному випадку під час проведення радіоконтролю випромінювань на значних відстанях від РЕЗ, коли позасмугові випромінювання маскуються радіозавадами й шумом, цей метод застосувати неможливо, але якщо визначення ширини займаної смуги частот, може бути виконано шляхом вимірювань поблизу передавача, то точність їхніх результатів буде значно вища, ніж у разі визначення ширини смуги частот цього передавача іншими методами.

Відомий другий принцип визначення ширини смуги частот випромінювання, який полягає у вимірюванні відношення повної потужності до потужності, що залишається за межами вимірюваної ширини смуги [1]. Для цього необхідно визначити „місцезнаходження” верхньої й нижньої границь смуги шляхом підсумовування потужностей позасмугових складників на стороні верхніх частот до тих пір, доки не буде отримано значення 0,5 % повної потужності, і потім повторити цю процедуру для позасмугових складників на стороні нижніх частот, починаючи в кожному випадку досить далеко від середньої частоти, з тим щоб не виключити з процесу вимірювання які-небудь складники зі значною енергією. Визначення ширини смуги частот випромінювання за цим принципом доцільно проводити поблизу РЕЗ. Цей принцип не можна застосовувати для вимірювань на значній відстані від передавача через те, що завадові радіовипромінювання і шуми можуть маскувати контрольовані позасмугові випромінювання.

Нині відсутні строго регламентовані правила або оптимальний алгоритм вибору границь інтегрування, але існують рекомендації, враховуючи які можна забезпечити мінімальні похибки вимірювань [1, 2]:

а) спектральна густина потужності повинна бути визначена у смузі частот, що перевищує в (1,5 - 2) рази очікувану ширину займаної смуги частот, причому, нерівномірність амплітудно-частотної характеристики аналізатора спектра не повинна суттєво впливати на результат інтегрування, тому в області спектра випромінювання, що підлягає контролю, вона повинна знаходитися в межах  $\pm 0,5$  дБ;

б) у смузі частот, у межах якої проводиться інтегрування, не повинні бути сторонні випромінювання, оскільки в даному випадку буде виміряна смуга, яку займають декілька випромінювань;

в) необхідно виключити інтегрування в межах частот, на яких спектральна густина потужності випромінювання, що контролюється, стає порівняною зі спектральною густиною шумів і фону приймача.

Перша рекомендація фактично задає вимоги до радіоконтрольного обладнання, яке використовується для вимірювання ширини займаної смуги частот. Виконання другої рекомендації забезпечує оператор радіомоніторингу під час проведення вимірювання з урахуванням запропонованої процедури вибору оптимальних меж інтегрування спектра. Виконання третьої рекомендації також забезпечує оператор, при цьому, перед проведенням розрахунків за формулами (4.29) необхідно прийняти за нуль всі значення вихідної спектральної густини потужності сигналу, які перевищують рівень фонових завад не більше, ніж на  $Y$  дБ. Уважається, що для більшості сигналів значення  $Y = 6$  дБ забезпечує добрі результати. Однак практичне виконання цієї рекомендації досить проблематичне, оскільки в цьому випадку повинні бути відомі значення відношення сигнал/завада для кожного складника спектральної потужності, а детальне врахування впливу співвідношень рівнів спектральних потужностей випромінювань і радіозавад на точність вимірювання ширини смуги частот представляє складне завдання.

### **4.3.3 Метод вимірювання ширини займаної смуги частот за критерієм $X$ дБ**

Не дивлячись на те, що вимірювання ширини контрольної смуги частот відповідно до чинних нормативних документів повинне проводитися з використанням випробувальних сигналів та попереднього встановлення опорного (вихідного) рівня 0 дБ, що для більшості класів радіовипромінювання потребує управління режимами роботи РЕЗ, оцінювання контрольної смуги частот у процесі вирішення завдань моніторингу спектра та технічного радіоконтролю в процесі штатної роботи передавачів має поширене застосування. При цьому виходять із того, що згідно з положеннями ГОСТ 30318 [61], під час штатної роботи РЕЗ значення його ширини контрольної смуги частот, не повинне перевищувати нормативне більше, ніж на 20 %. Основна складність практичної реалізації технічного радіоконтролю ширини смуги частот радіовипромінювання під час штатної роботи передавача полягає у встановленні опорного нульового рівня, відносно якого проводиться відлік вимірювального рівня  $X$  дБ.

Наприклад, у разі вимірювання ширини смуги ЧМ радіовипромінювань, їхній нульовий рівень являє собою пікове значення обвідної випромінювання, яке інколи досить тяжко піддається визначенню внаслідок зменшення амплітуди несучої частоти у процесі модуляції. Деякі РЕЗ працюють з неперервною модуляцією, тому для них досить рідко появляється можливість співвіднести повну потужність радіовипромінювання передавача до його несучої частоти з тим, щоб можна було встановити нульовий рівень. Однак, оскільки загальна потужність ЧМ сигналу постійна, то у [1] запропоновано для цього випадку визначати опорний нульовий рівень шляхом вибору ширини смуги пропускання вимірювального РПП, яка охоплює весь контрольований сигнал, у той час, коли сам РПП настроєний на його

## ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

центральну частоту. У процесі вибору ширини смуги пропускання вимірювального РПП необхідно забезпечити усі можливі заходи, щоб до вибраної смуги пропускання не попали частини спектрів сусідніх випромінювань.

АМ випромінювання займають ширину смуги, яка, як правило, відповідає найвищій модулюючій звуковій частоті. У цьому випадку значення мінімальної необхідної смуги пропускання РПП для поточних вимірювань точок спектра на рівні  $X$  дБ, може виявитись недостатньо точним через низьку роздільну здатність у разі контролю широких смуг частот. З метою вирішення цієї проблеми у [1] запропоновано контролювати спектр за необхідної вузької дозвільної ширини смуги частот із використанням функції утримання максимумів.

В разі вимірювання ширини смуги частот цифрових модульованих сигналів, які зазвичай мають шумоподібний спектр, у [1] пропонується опорний нульовий рівень встановлювати на максимум сигналу і вимірювати рівні  $X$  дБ за однієї ширини смуги пропускання вимірювального РПП.

Рекомендації стосовно встановлення нульового рівня в залежності від класу радіовипромінювання наведені також у ГОСТ 30318, які в деяких випадках можна застосувати й під час проведення технічного радіоконтролю. Зокрема, ним регламентовані такі варіанти встановлення нульового рівня:

-для радіовипромінювання класів *A1AAN, A1BBN, A2AAN, H2BBN, J2BBN, F1BCN, G1BCN, F3EGN, F1C, F3C, F7BDX, FID, FIE, F2B, F7E, F7B, F8B, GIB, GIE, GIF, G1W, G2B, G2D, G7D, G7E, G7F, G7W* - за рівнем немодульованої (неманіпульованої) несучої частоти (рис. 4.8, а);

-для радіовипромінювання класів *A3C* та *R3C* - за рівнем немодульованої (неманіпульованої) піднесучої частоти (рис. 4.8, а);

-для радіовипромінювання класів *P0NAN, K1B, Q1B* - за рівнем максимального (пікового) складника спектра сигналу, що контролюється;

-для радіовипромінювання класів *A3EJN, A3EGN, R3EGN, R3EJN, B8EJN, H3FJN, J3EJN, R7BCF, J7BCF, B9WWX, F3EJN, F8FJF, F8WWN, D7W*- за максимальним рівнем обвідної спектра в межах бічної смуги частот, причому рівень несучої частоти або її залишок не враховується (рис. 4.8, б).

Нині не існує однозначного способу встановлення вихідного рівня. Найпростіше опорний нульовий рівень можна встановити відповідно до рівня максимального складника спектра сигналу, що контролюється, наприклад, для імпульсних сигналів, які відповідають класам радіовипромінювання *P0NAN, K1B, Q1B*. Аналізуючи спектр сигналу, можна також установлювати вихідний рівень для класів радіовипромінювання, в яких нульовий рівень відповідає максимальному рівню обвідної спектра в межах бічної смуги частот без урахування рівня несучої частоти або її залишку (рис. 4.8, б). При цьому цілком можливе маскування несучої частоти, що утруднює встановлення вихідного рівня. Для радіовипромінювання класу *A3EGN* у даному випадку ГОСТ 30318 допускає встановлення нульового рівня таким

чином, щоб на рівні мінус 10 дБ ширина смуги частот випромінювання була рівною 4 кГц, що в певній мірі спрощує процес проведення вимірювань.

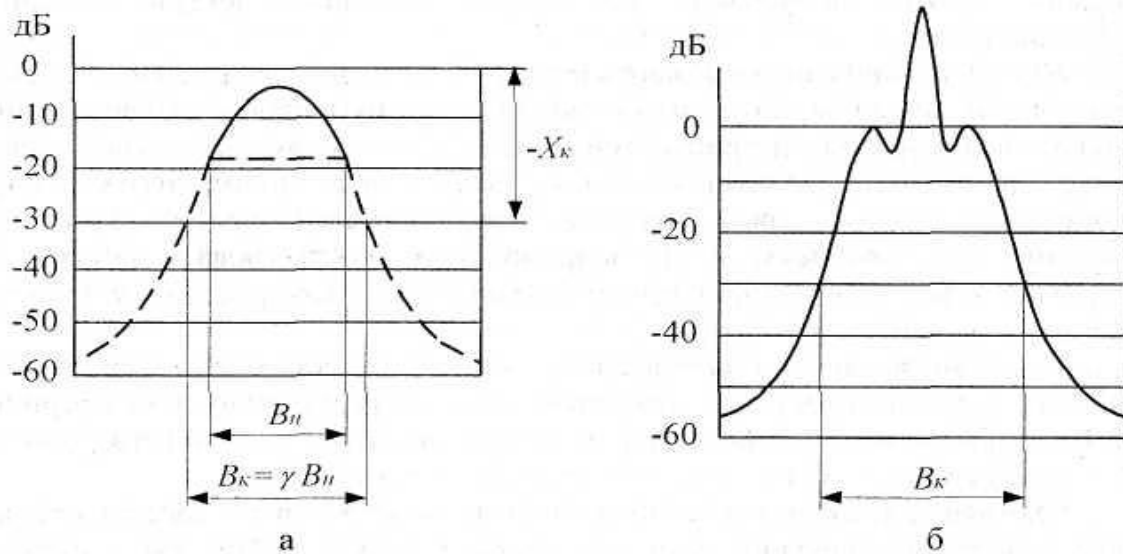


Рис. 4.8. Приклади встановлення вихідного рівня:

а - нульовий рівень більший максимального значення спектра сигналу;

б - нульовий рівень менший максимального значення спектра сигналу

Найскладніше під час штатної роботи радіопередавальних пристроїв установити вихідний рівень відповідно до рівня немодульованої несучої або піднесучої частоти. Для цих найпоширеніших радіовипромінювань (27 класів) рекомендується застосовувати метод заміщення, який базується на тому, що для випромінювання цих класів можна під час штатної роботи передавача визначати рівень немодульованої несучої частоти [9].

Метод заміщення проводиться двома етапами: на першому визначається рівень немодульованої несучої частоти, на другому етапі на аналізатор спектра подається гармонійний сигнал із рівнем, виміряним на першому етапі, і проводиться калібрування аналізатора за максимальним значенням спектра.

Після встановлення нульового рівня проводять вимірювання ширини контрольної смуги частот і, за потреби, контроль позасмугових випромінювань. У випадку використання аналізатора спектра з логарифмічним детектором відлік значень ширини контрольної смуги частот та рівнів позасмугових випромінювань проводять безпосередньо за шкалою аналізатора спектра на відповідних рівнях частотного інтервалу між крайніми спектральними складниками, що перевищують цей рівень. ГОСТ 30318 рекомендує проводити вимірювання за цим методом лише аналізаторами спектра, у яких похибка вимірювання за логарифмічною шкалою не перевищує 2 дБ.

Практична реалізація вимірювання ширини смуги частот за вказаною методикою залежить від класу радіовипромінювання. В імпульсно-модульованих випромінюваннях під час штатної роботи передавача амплітуда

немодульованої несучої частоти відповідає піковому значенню амплітуди. В цьому випадку для вимірювань можна використати вольтметр із піковим детектором або осцилограф.

Під час використання методу заміщення необхідно мати на увазі, що встановлення нульового рівня та самі спектральні вимірювання ширини смуги частот повинні проводитися:

-лише у випадку стабільних сигналів, тобто коли відсутні завмирання сигналу протягом всього часу вимірювання в місці проведення радіоконтролю;

-за одних і тих же умов та параметрів аналізатора спектра: смуги пропускання фільтра, швидкості сканування, сталих часу тощо.

Якщо ширина смуги частот радіовипромінювання, яку вимірюють, виходить за межі шкали аналізатора спектра, що потребує збільшення смуги огляду, то після її зміни і проведення вимірювання необхідно повторно провести калібрування аналізатора за рівнем немодульованої несучої частоти, після чого повторити весь процес вимірювання.

Вимірювання ширини займаної смуги частот за критерієм  $X$  дБ проводять, в основному, двома методами спектрального аналізу [1]:

- 1) послідовного (з використанням одного смугопропускнуго фільтра);
- 2) паралельного (з використанням декількох смугопропускнух фільтрів).

Методом послідовного спектрального аналізу проводиться пряме вимірювання ширини займаної смуги частот сигналу на рівні  $X$  дБ шляхом проведення повного аналізу його спектра за допомогою скануючого вузько-смугового фільтра, настроєного на певну фіксовану частоту. При цьому окремі складники частотного спектра сигналу, що контролюється, співпадають з частотою фільтра у процесі її послідовної зміни. Перестроювання частоти фільтра проводиться в автоматичному або в ручному режимі. В якості такого фільтра може бути застосований, наприклад, аналізатор спектра.

Під час послідовного аналізу спектра сигналу ширина смуги частот на рівні  $X$  дБ розглядається як сукупність дискретних складників сигналу, рівні яких послаблені менше ніж на 30 дБ відносно пікового рівня випромінювання. Така процедура, зазвичай, не забезпечує точного вимірювання ширини займаної смуги частот сигналу відповідно до її визначення, наведеного в Регламенті радіозв'язку. Наприклад, цілком можливо, що певне радіовипромінювання буде створювати багато низькорівневих частотних складників з обох сторін основного випромінювання, внаслідок чого сума їх потужностей на кожній стороні може бути набагато більшою 0,5 % загальної середньої потужності, хоча при цьому рівні цих складників будуть меншими рівня мінус 30 дБ. У такому випадку ширина займаної смуги частот сигналу, яка визначена методом вимірювання відношення потужностей під час проведення технічного радіоконтролю безпосередньо на передавачі, буде, цілком ймовірно, дещо перевищувати ширину смуги частот на рівні  $X$  дБ, яка виміряна цим методом на відстані.

Головний недолік аналізаторів спектра, які використовують одиночний фільтр для сканування всієї контрольованої смуги частот, - це невідповідність між високою роздільною здатністю та великими швидкостями сканування, особливо в процесі контролю смуги частот значної ширини. Висока швидкість сканування в даному випадку необхідна для отримання достовірного відображення проміжних складників частотного спектра сигналу, але в разі зростання швидкості сканування роздільна здатність погіршується, так що значимі складники радіовипромінювання будуть відображатися неточно, що в цілому погіршує точність вимірювання ширини смуги частот.

Метод паралельного аналізу спектра частот базується на розділенні смуги частот, яка контролюється, на певну кількість, прилеглих одна до одної, вузьких смуг, на кожен з яких передбачений свій смугопропускний фільтр. При цьому, виходи цих фільтрів або постійно підключені кожен до свого засобу вимірювання, або автоматично послідовно підключаються до входу одного засобу вимірювання. Даний метод особливо доцільно вживати під час контролю неперіодичних радіосигналів, але при цьому необхідно мати на увазі, що його практична реалізація надзвичайно складна.

В останні роки, дякуючи досягненням обчислювальної техніки та комп'ютеризації процесів радіоконтролю, застосовують більш ефективний математичний аналіз частотних спектрів сигналів, наприклад, за допомогою швидкого перетворення Фур'є.

В реальних умовах проведення на РКП вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання РЕЗ, коли існують невирішені досі такі проблеми, як, наприклад, флуктуації вимірів, вплив на вимірювання шумів і радіозавад тощо, все ще не визначений єдиний метод вимірювання. Тому у зв'язку з необхідністю встановлення єдиного узгодженого оцінювання значень ширини смуги частот радіовипромінювання РЕЗ, отриманих на різних станціях радіомоніторингу, та з метою забезпечення можливості порівнювання цих результатів у Рекомендації ІТУ-Р SM.443 [14] пропонується, „щоб до того часу, поки не будуть розроблені методи вимірювання смуги частот, які б повністю враховували конкретний характер діяльності станцій радіомоніторингу, на цих станціях тимчасово застосовували для оцінювання ширини смуги частот метод її вимірювання за критерієм X дБ, який базується на вимірюванні ширини смуги на рівні мінус 26 дБ, і вживали поправочний коефіцієнт для відповідного класу радіовипромінювання". У той же час за цією Рекомендацією „адміністрації та інші виконавці робіт МСЕ-Р повинні сприяти проведенню досліджень та випробувань стосовно поширення методу вимірювання за критерієм X дБ".

У ній також для окремих класів радіовипромінювання наведені співвідношення між шириною смуги частот, вимірюваної на рівні мінус 26 дБ ( $B_{26}$ ), та шириною необхідної смуги частот  $B_n$  (див. табл. 4.4), а також рівні X дБ, на яких виміряні значення ширини смуги частот  $B_x$  найбільше наближені до значень ширини займаної смуги частот (див. табл. 4.5).



Таблиця 4.4 — Співвідношення між шириною необхідної смуги частот та вимірної на рівні мінус 26 дБ

Клас радіовипромінювання	Співвідношення між $B_{26}$ та $B_n$
<i>A1A, A1B, A2A, A2B</i>	$B_{26} = 0,9 B_n$
<i>F1B</i>	$B_{26} = B_n$
<i>F3C</i>	$B_{26} = B_n$
<i>F7BDX</i>	$B_{26} = 0,9 B_n$

Таблиця 4.5 — Рівні, на яких виміряні значення ширини смуги частот найбільше наближені до значень ширини займаної смуги

Клас радіовипромінювання	Рівень, на якому ширина смуги частот найбільше наближена до значення ширини займаної смуги
<i>A1A, A1B</i>	мінус 30
<i>A2A, A2B</i>	мінус 32
<i>A3E</i>	мінус 35
<i>F7B</i>	мінус 28
<i>B8E, F3E, G3E, H2B, H3E, J2B, J3E, R3E</i>	мінус 26
<i>F1B, F3C</i>	мінус 25

#### 4.3.4 Вимірювання рівнів позасмугових випромінювань

Радіоконтроль параметрів позасмугових випромінювань необхідний для вирішення задач ЕМС та визначення відповідності параметрів засобу радіозв'язку, що випробовується, заявляється або розроблюється, вимогам нормативно-технічної документації.

Визначення рівнів позасмугових випромінювань в основному ґрунтується на методі вимірювання ширини займаної смуги частот за критерієм X дБ і проводиться шляхом вимірювання ширини смуги частот контрольованого сигналу на рівнях мінус 40, мінус 50 та мінус 60 дБ із наступним порівнянням отриманих значень з нормативними (ГОСТ 30318, Норми 19 тощо) чи з обмежувальними кривими (масками) на позасмугові випромінювання, що наведені для певних класів радіовипромінювання в нормативних документах або в Рекомендаціях ІТУ-R (в основному -SM.1541-1 і SM.328).

Сукупність нормативних значень ширини смуг частот на рівнях від мінус 30 дБ до мінус 60 дБ дає можливість побудувати графік нормативної обмежувальної обвідної спектра позасмугового випромінювання, на який наносяться дані, отримані за результатами вимірювань рівнів обвідної спект-

ра контрольованого сигналу, при цьому обмежувальна лінія позасмугового випромінювання з другого краю графіка проходить симетрично першій по відношенню до середньої частоти спектра. Далі проводиться аналіз взаємного розміщення відповідних нормативних та вимірних значень.

Типовий приклад проведення радіоконтролю позасмугових випромінювань радіомовного передавача з класом радіовипромінювання *A3EGN* наведений у ГОСТ 30318. Для даного класу радіовипромінювання нормативні розрахункові значення ширини смуги частот складають:

$$B_{-30} = 1,2 B_n; B_{-40} = 1,35 B_n; B_{-45} = 1,4 B_n; B_{-50} = 1,9 B_n; B_{-60} = 3,3 B_n$$

де  $B_n$  - необхідна смуга частот, визначена за формулою  $B_n = 2M$  ( $M$  - максимальне значення модулюючої звукової частоти).

Перше значення ширини смуги частот відповідає ширині контрольної смуги, вимірної на рівні мінус 30 дБ відносно нульового рівня, інші наведені для рівнів мінус 40 дБ, мінус 45 дБ, мінус 50 дБ і мінус 60 дБ. Графік обмежувальної лінії, яка відповідає розрахованим нормативним даним, представлений на рис. 4.9. Результати вимірювань (у даному випадку - умовні) ширини смуг частот на рівнях мінус 30 дБ, мінус 40 дБ, мінус 45 дБ, мінус 50 дБ та мінус 60 дБ віднесені до ширини необхідної смуги частот і відмічені на рис. 4.9 точками.

За результатами порівняння вимірних значень (у даному випадку - умовних) із відповідними нормативними можна зробити висновок, що ширина контрольної смуги частот і спектри позасмугових радіовипромінювань даного передавача у притул до рівня мінус 45 дБ відповідають нормативним значенням, а на рівнях менших мінус 45 дБ не відповідають.

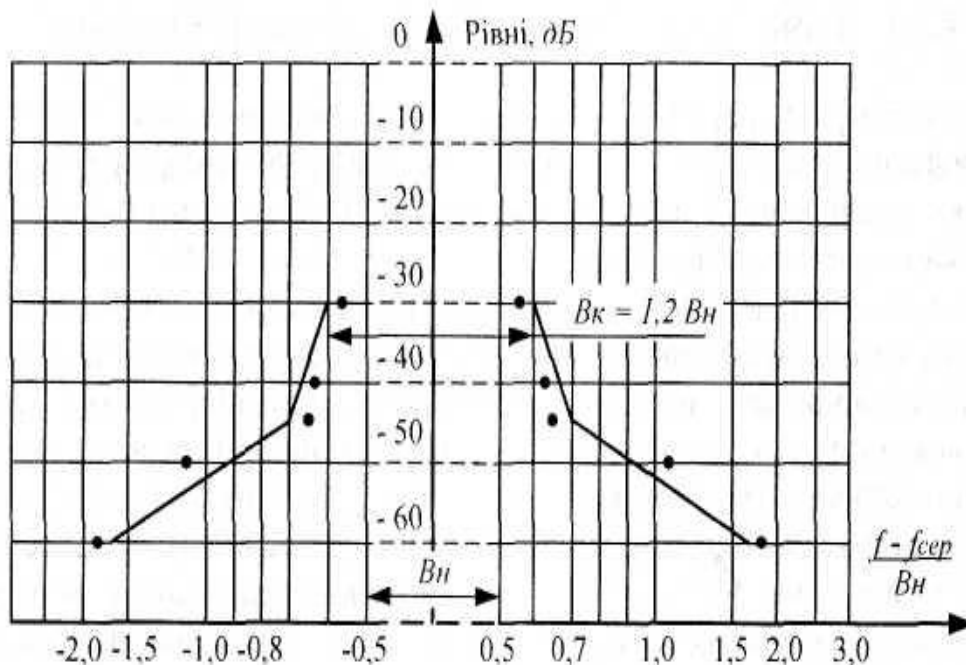


Рис. 4.9. Приклад контролю рівнів позасмугових радіовипромінювань

Для таких вимірювань під час проведення моніторингу спектра й технічного радіоконтролю необхідно, щоб засоби вимірної техніки та

обладнання, що при цьому застосовуються, забезпечували можливість побудови спектра контрольованого радіовипромінювання у відповідному динамічному діапазоні.

### 4.3.5 Рекомендації щодо проведення вимірювань та аналізу результатів

В реальних умовах вимірювань ширини займаної смуги частот РЕЗ або ВП, які найчастіше проводяться на значній відстані від стаціонарних РКП, завжди виникають певні проблеми, зокрема [1]:

- радіовипромінювання, що контролюється, як правило, має низький рівень напруженості електромагнітного поля і його потрібно виділити із низки різноманітних сторонніх випромінювань;

- існує деяка ймовірність того, що виміряне значення параметра може суттєво відрізнятись від реального значення (безпосередньо на виході передавача РЕЗ) унаслідок впливу завад, які виникають під час поширення радіохвиль;

- існує деяка ймовірність того, що на результати вимірювання можуть вплинути ефірні радіозавади та шуми;

- стала часу (інерційність) технічних засобів вимірювання й контролю повинна бути якомога меншою для забезпечення можливості безперервної реєстрації швидких змін у смузі частот радіовипромінювання, що вимірюється.

РПП, які застосовуються в комплексах радіомоніторингу і технічного радіоконтролю для вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання повинні відповідати таким вимогам [1]:

- Нерівномірність амплітудно-частотної характеристики смуги пропускання повинна бути не більшою  $\pm 0,5$  дБ у межах спектра випромінювання, що контролюється;

- вибірковість за частотою повинна бути такою, щоб належним чином розрізнявати позасмугові радіозавади та шуми і не вносити при цьому втрат більше ніж 2 дБ на границях смуги пропускання відносно рівня в середній частині смуги пропускання;

- пристрої повинні мати якомога кращу лінійність, розраховану на зміну вхідного сигналу не менше, ніж на 60 дБ, з тим щоб забезпечити нормальний режим вимірювання в разі можливих змін напруженості поля контрольованого радіовипромінювання.

В разі застосування аналізатора спектра для вимірювання ширини смуги частот випромінювання за критерієм X дБ він повинен працювати в режимі запам'ятовування пікових значень складників сигналу („утримання максимумів”), мати якомога кращі лінійність і діапазон відображення вхідних напруг, які можуть змінюватися в межах не менше, ніж 60 дБ.

Вимірювати ширину займаної смуги частот визначеного класу радіовипромінювання бажано протягом інтервалів часу, коли це випромінювання займає найширшу смугу.

Отримані за результатами вимірювання значення ширини займаної смуги частот РЕЗ потрібно порівняти зі значенням ширини необхідної смуги частот, яка визначена класом радіовипромінювання, що контролюється. Якщо виявлено, що хоча б одне з отриманих значень ширини займаної смуги частот суттєво перевищує значення ширини необхідної смуги частот, то потрібно запланувати проведення подальшого детального радіоконтролю параметрів цього РЕЗ. При цьому, в першу чергу, необхідно встановити періодичність появи зафіксованих відхилень частоти в ефірі й тривалість інтервалів часу, протягом якого вони спостерігаються, та з'ясувати основні причини перевищення ширини займаної смуги частот нормативного значення. Для цього доцільно збільшити кількість планових перевірок параметрів випромінювання цього РЕЗ.

Причиною перевищення вимірюваного значення ширини займаної смуги частот нормативного може бути збільшення рівня похибки вимірювання внаслідок наявності радіозавад, які оператор радіомоніторингу не зміг візуально виявити на відображенні спектра. Для виявлення впливу на виміри таких завад корисно порівнювати результати одночасних вимірювань ширини займаної смуги частот контрольованого РЕЗ на різних (територіально рознесених) РКП. Якщо вони суттєво відрізняються, то найвірогіднішою причиною завищеного значення ширини займаної смуги частот є вплив раніше не виявленої в процесі вимірювання завади.

З метою підвищення точності вимірювання ширини займаної смуги частот і рівнів позасмугових випромінювань шляхом збільшення відношення сигнал/завада потрібно:

- застосовувати направлені вимірювальні антени із вузькою ДН в азимутальній площині, які мають підвищену завадозахищеність від сторонніх радіовипромінювань;

- проводити вимірювання поблизу РЕЗ, використовуючи для цього мобільний комплекс радіомоніторингу.

Завищені значення вимірних ширини смуги радіочастот і (чи) рівнів позасмугових випромінювань можуть бути також викликані:

- інтермодуляційними завадами, що виникають у вимірювальному РПП технічного засобу радіоконтролю;

- ефірними інтермодуляційними та побічними випромінюваннями.

В цьому випадку для ідентифікації джерел радіозавад потрібно використовувати кореляційні методи їхнього пошуку.

Якщо однозначно встановлено, що завищені значення ширини займаної смуги частот і (або) рівнів позасмугових випромінювань не пов'язані з похибками вимірювання чи впливом радіозавад, тоді потрібно:

- за допомогою додаткових технічних засобів радіоконтролю виявити наявність відхилення параметрів модуляції радіовипромінювання (глибини

модуляції, швидкості передавання цифрової інформації тощо) від нормованих значень, що може також спричинити збільшення ширини смуги частот;

- провести (в разі наявності відповідних технічних можливостей) вимірювання ширини контрольної смуги частот радіовипромінювання, наприклад, методом вимірювання за критерієм X дБ, і провести її контроль щодо відповідності нормативним вимогам. Такі вимірювання можуть, зокрема, показати, що ширина контрольної смуги частот знаходиться в межах норми, а рівень позасмугових випромінювань недопустимо високий, звідки можна зробити висновок стосовно того, що збільшення ширини займаної смуги частот зумовлене розширенням спектра на рівнях нижче мінус 30 дБ.

З метою виявлення характеру довготривалих змін ширини займаної смуги частот і рівнів позасмугових випромінювань РЕЗ порівняно з результатами, які отримані під час уведення цих РЕЗ в експлуатацію чи під час проведення інспекційних перевірок, доцільно регулярно проглядати архівні дані та аналізувати виміри, отримані під час проведення періодичних перевірок, на наявність їхніх змін із часом. Якщо з'ясується, що виміряні значення ширини займаної смуги частот і (чи) рівнів позасмугових випромінювань контрольованого РЕЗ мають тенденцію до збільшення, то необхідно зменшити інтервал між повторними вимірюваннями цих параметрів або провести позачергову інспекцію цього РЕЗ із збільшенням тривалості радіоконтролю.

#### 4.4 Радіочастотний контроль побічних випромінювань

У процесі проведення технічного радіоконтролю можливі два способи вимірювання рівнів побічних випромінювань РЕЗ:

- 1) безпосередньо в разі наявності прямого доступу до обладнання РЕЗ;
- 2) дистанційно шляхом вибору та аналізу спектра сигналу контрольованого передавача у звичайному штатному режимі його роботи.

Методи контролю рівнів побічних випромінювань за наявності прямого доступу до обладнання РЕЗ та у лабораторних умовах наведені в Нормах 18 [73], ДСТУ 4184 [75], ГОСТ 13924 [53], ETS 300 384 [80] тощо. Вони ґрунтуються на вимірюванні рівнів побічних випромінювань, на певному навантаженні (еквіваленті антени) передавача РЕЗ у визначеному частотному діапазоні відносно його несучої частоти за умови роботи передавача в режимі випромінювання несучої частоти без модуляції і відрізняються несуттєво.

Типова структурна схема вимірювання рівнів побічних випромінювань за наявності прямого доступу до обладнання РЕЗ наведена на рис. 4.10 [81].

Контроль рівнів побічних випромінювань за цією схемою проводиться безпосередньо на еквіваленті антени передавача за типовою методикою:

- 1) на вхід ПЧ передавального пристрою подається немодульований сигнал;
- 2) встановлюється максимальне значення потужності вихідного сигналу;

3) за допомогою високочастотного аналізатора спектра чи селективного вольтметра вимірюються рівні побічних випромінювань у контрольованому діапазоні частот;

4) повторюються вимірювання за номінальної та мінімальної потужностей вихідного сигналу;

5) фіксуються найбільші з отриманих значень.

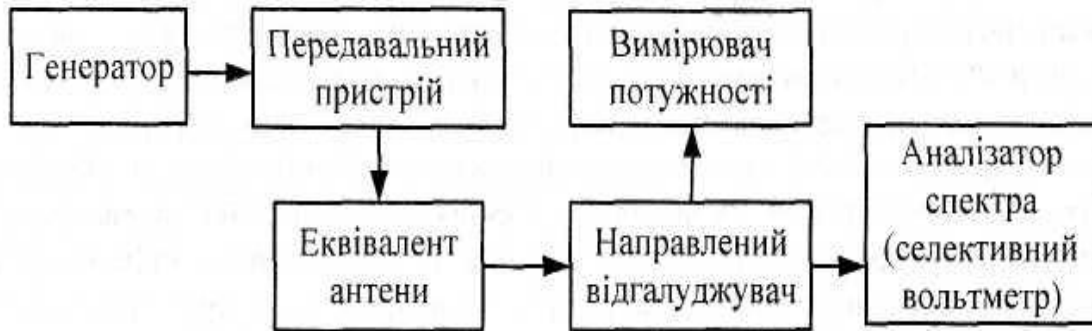


Рис. 4.10. Структурна схема вимірювання рівнів побічних випромінювань за наявності прямого доступу до обладнання РЕЗ

За цим методом контролю замість аналізатора спектра можна використовувати вимірювальний РПП, за умови, що його вибіркковість на частотах вимірюваного побічного випромінювання передавача складає не менше

$$N = -(N_{\text{П}} - 6) \text{дБ}, \quad (4.30)$$

де  $N_{\text{П}}$  - нормативний рівень побічного випромінювання передавального пристрою, що контролюється [75].

Відповідно до Норм 18 смуга пропускання вимірювального РПП або аналізатора спектра під час проведення вимірювання рівнів побічних випромінювань повинна відповідати контрольній (еталонній) (див. табл. 3.4). Але за потреби збільшення точності вимірювання, чутливості та ефективності Рекомендація ITU-R SM.329 допускає, що вона може відрізнятись від контрольної. Крім цього, деякі служби можуть використовувати під час вимірювань на частотах поблизу несучої частоти значення контрольної (еталонної) смуги частоти відмінні від вищезазначених (див. рис. 3.4).

Вимірювання рівнів побічних випромінювань дистанційно (під час проведення технічного радіоконтролю) вкрай утруднено внаслідок суттєвої завантаженості РЧС і впливу на випромінювання контрольованого РЕЗ сторонніх радіовипромінювань. Методи технічного радіоконтролю рівнів побічних випромінювань у звичайному штатному режимі роботи РЕЗ в Україні нині не розроблені. В той же час відомі методи вимірювання рівнів побічних випромінювань РЕЗ, що ґрунтуються на аналізі спектра сигналу контрольованого передавача в штатному режимі його роботи, і які можна застосовувати для технічного радіоконтролю [73, 81]. Структурна схема дистанційного вимірювання потужності випромінювання передавальних пристроїв наведена на рис. 4.11 [73], причому за цією схемою замість

вимірювального РПП можна застосовувати аналізатор спектра чи селективний вольтметр.



Рис. 4.11. Структурна схема дистанційного вимірювання рівнів побічних випромінювань

Методика вимірювання рівнів побічних випромінювань полягає в тому, що:

а) установлюється смуга пропускання вимірювального РПП або аналізатора спектра згідно з контрольованим діапазоном частот (див. підрозділ 3.5);

б) перестроюючи вимірювальний РПП у контрольованому діапазоні частот, фіксуються частоти побічних випромінювань контрольованого РЕЗ;

в) установлюється вертикальна поляризація вимірювальної антени і вимірюється рівень побічного випромінювання на кожній із зафіксованих частот;

г) установлюється горизонтальна поляризація вимірювальної антени і вимірюється рівень побічного випромінювання на кожній із зафіксованих частот;

д) розраховуються значення відносних рівнів побічних випромінювань для кожної з частот, на якій проводилися вимірювання, за формулами, наведеними у [73].

На результати вимірювань не повинні впливати радіовипромінювання сторонніх джерел радіозавад (високовольтні лінії, інші РЕЗ тощо), тому в процесі проведення технічного радіоконтролю рівнів побічних випромінювань РЕЗ нагальною проблемою є встановлення належності побічного випромінювання певному, зокрема, контрольованому, радіопередавачені. Щоб бути впевненим у тому, що побічне випромінювання, рівень якого потрібно оцінити (виміряти), належить саме контрольованому РЕЗ, а не сторонньому ДРВ необхідне його попереднє розпізнання (ідентифікація). Практичного застосування набули такі методи ідентифікації [1]:

1) крім аналізу спектра контрольованого випромінювання використовують пеленгування його джерела або направлену антену;

2) проводять ідентифікацію за допомогою двох РПП, один із яких настроюють на основну частоту контрольованого РЕЗ, а другий - на його ймовірне побічне випромінювання і для встановлення ідентичності сигнали прослуховують. В разі утруднення розпізнання сигналу за слуховим контролем виходи РПП підключають до входів X і Y осцилографа, на екрані якого спостерігається еліпс, якщо сигнали належать одному РЕЗ;

3) використовують два вимірювальні РПП абсолютно різної конструкції, у яких відмінні комбінації змішування частот і різні ПЧ;

4) застосовують методи кореляції сигналів двох РПП, один із яких настроюють на частоту контрольованого побічного випромінювання, а другим послідовно сканують інші частоти, при цьому шляхом визначення коефіцієнтів взаємної кореляції між демодульованими сигналами встановлюють зв'язок між основним і побічним випромінюваннями [1].

Кореляційний метод ідентифікації радіозавод, який розроблений у "Проблемній лабораторії з радіоконтролю й ЕМС" Санкт-Петербурзького Державного університету телекомунікацій ім. Бонч-Бруєвича, досить ефективний і реалізований у радіоконтрольному обладнанні "ИРГА" (Російська Федерація) [82].

Структурна схема його реалізації наведена на рис. 4.12.

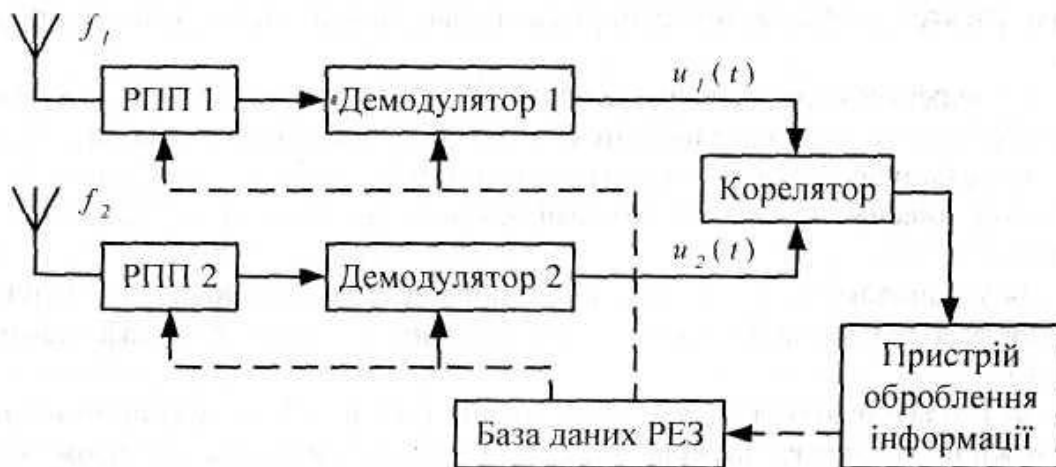


Рис. 4.12. Структурна схема кореляційного ідентифікатора джерел радіозавод

У процесі пошуку джерела радіозаводи РПП 1, який використовується для аналізу, настроюють на уражену заводою частоту  $f_1$ , а пошуковий РПП 2 автоматично перестроюється на частоти станцій, які можуть бути потенційними джерелами радіозавод. Ці частоти попередньо розраховуються за допомогою математичної моделі на основі інформації з бази даних РЕЗ. Якщо база даних РЕЗ або інформація про джерело заводи в ній відсутні, то РПП 2 здійснює покрокове перестроювання частоти в смузі частот, що аналізується. Корелятор реєструє статистичну залежність між сукупним сигналом (сумішшю корисного сигналу й заводи на виході демодулятора 1  $u_1(t)$  і



опорним сигналом  $U_2(t)$  із виходу демодулятора 2. Наявність статистичної залежності між сигналами  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$  дає підставу припустити, що частота  $f_2$  бере участь в утворенні радіозавади, і перейти до процесу виявлення механізму її утворення. На відміну від функціональної залежності кореляція виникає тоді, коли залежність однієї з ознак від іншої ускладнюється наявністю випадкових чинників.

Кореляційний ідентифікатор джерел радіозавад дозволяє виявити:

- побічні випромінювання;
- випромінювання, викликані взаємною модуляцією;
- побічні канали та канали із взаємною модуляцією приймача;
- вплив блокування та перехресної модуляції;
- завади від сусідніх каналів.

Засоби виміральної техніки, які застосовуються для вимірювання рівнів побічних випромінювань РЕЗ, повинні відповідати таким вимогам [73]:

а) частотний діапазон вимірального РПП (аналізатора спектра, селективного вольтметра) повинен перекривати контрольований діапазон частот, при цьому допускається перекриття цього діапазону частинами різними вимірвальними засобами;

б) вимірвальний РПП під час вимірювання повинен працювати в лінійному режимі;

в) абсолютна похибка вимірювання рівня потужності (напруги) неперервного сигналу повинна бути не більшою 2,5 дБ;

г) в разі контролю радіовипромінювання передавача, який працює в імпульсному режимі, вимірвальний РПП повинен мати піковий детектор;

д) вимірвальна антена повинна мати лінійну поляризацію з можливістю її встановлення у двох ортогональних площинах;

є) вимірвальна антена повинна бути атестованою за дійовою (ефективною) площею з похибкою не більше 30%, або за коефіцієнтом підсилення з наступним визначенням дійової (ефективної) площі на частоті вимірювання за формулою

$$S_{0(i)} = \frac{G_{0(i)} \times \lambda_{0(i)}^2}{4\pi}, \quad (4.31)$$

де  $G_{0(i)}$  - коефіцієнт підсилення антени на частоті вимірювання (індекс 0 відноситься до робочої частоти, індекс  $i$  — до частоти  $i$ -го побічного випромінювання);

$\lambda_{0(i)}$  — довжина хвилі, на якій проводяться вимірювання (індекс 0 відноситься до робочої частоти, індекс  $i$  — до частоти  $i$ -го побічного випромінювання), м (см);

ж) КСХ виміральної антени повинен бути не більше 2,5;

з) КСХ входу фільтра повинен бути не більше 2,5;

к) Вимірвальний атенюатор повинен мати потужність розсіювання  $P$

$$P \geq P_0 * k_{n.o} \quad (4.32)$$

де  $P_0$  — потужність передавача, який контролюється, Вт;

$k_{n.o}$  — коефіцієнт передавання за потужністю на частоті вимірювання

л) вимірювальний атенуатор повинен забезпечувати мінімальне затування, що визначається з умови

$$\alpha_{min} \geq 10 \lg * P_0 * k_{н.о} / P_{в.н} \quad (4.33)$$

де  $P_{в.н}$  - верхня межа вимірювання потужності вимірювального РПП, Вт;

м) допустима потужність розсіювання на еквівалентному навантажувальному опорі (еквіваленті антени) повинна бути не меншою максимальної середньої потужності основного випромінювання передавача, який контролюється;

н) КСХ на вході еквівалентного навантажувального опору повинен бути не більше 1,4;

п) допоміжне вимірювальне обладнання (ВЧ перемикачі, з'єднувальні фідери тощо) повинні бути атестовані у всьому контрольованому діапазоні частот;

р) КСХ допоміжних елементів ВЧ вимірювального тракту повинен бути не більше 1,5;

с) ВЧ перехідники та перемикачі не повинні вносити затування більше 0,5 дБ.

#### 4.5 Контроль зайнятості спектра

Загальновідомо, що РЧС найефективніше використовується тоді, коли відомі рівні розподілу радіосигналів із часом і у просторі. Інформація стосовно зайнятості (використання) спектра вказує на те, як довго спостерігається який-небудь сигнал на певній частоті або в певній смузі частот. Окремі вимірювання, що проводяться на якійсь частоті, можуть бути об'єднані з тим, щоб показати, як змінюється використання цієї частоти чи певної смуги частот протягом доби (час максимального навантаження, тривалість пікового (максимального), середнього та мінімального використання частоти чи смуги частот). Дані щодо використання багатьох частот можуть об'єднуватися з тим, щоб мати уявлення про середній рівень використання всіх частот у певній смузі або для вибраної групи користувачів.

Інформація стосовно зайнятості радіочастотного каналу та перевантаження смуги частот досить цінна для виконання деяких функцій управління РЧР. Ця інформація може вживатися для визначення каналів, які не використовуються в певній смузі частот, або для заборони додаткових присвоєнь частот у каналах, які використовуються інтенсивно. Вона також може бути підставою для розслідування у випадках використання каналів, у яких згідно з даними реєстру присвоєнь смуг і номіналів радіочастот відсутні які-небудь присвоєння, або в разі відсутності роботи передавачів на присвоєних частотах. Зміни з часом у статистиці зайнятості для однієї смуги частоти в одній географічній зоні можуть свідчити про ті чи інші тенденції. Нарешті, ця інформація може використовуватися з метою сприяння в прогнозуванні та плануванні під час розподілу додаткових смуг частот, коли діючі смуги стають занадто перевантаженими. Крім цього контроль

використання (зайнятості) спектра може виконуватися з метою ліцензування РЕЗ, обслуговування користувачів, які використовують нову частоту, для визначення ефективності використання частотних каналів або смуг частот, у разі розгляду скарг користувачів щодо перевантаження їхніх частот, а також, щоб мати інформацію стосовно поточного використання РЧС.

Між інформацією, отриманою за результатами контролю, та даними в реєстрі присвоєнь смуг і номіналів радіочастот прямий зв'язок відсутній, інформація стосовно зайнятості каналу вказує лише на те, що його частота використовується, але не вказує яким саме передавачем. Наявність присвоєння на певній частоті та наявність сигналу на цій частоті не обов'язково означають, що виміряний сигнал передавався РЕЗ, якому присвоєна ця частота. Для вирішення цієї невизначеності може знадобитися слуховий контроль за позивними передавача чи аналогічною інформацією з метою розпізнавання РЕЗ. Інформацію стосовно зайнятості частоти чи смуги частот для певного передавача можна отримати за допомогою визначення місцезнаходження джерела радіосигналу або, якщо відсутня така можливість, за допомогою визначення напрямку на нього. Крім цього відсутність сигналу на певній частоті чи в певній смузі частот не обов'язково вказує на відсутність їх присвоєння чи невикористання. Цілком можливо, то передавач, якому присвоєна ця частота, під час проведення контролю не працював.

Нині відсутні нормативні документи, які б регламентували вимоги й методи стосовно проведення контролю зайнятості РЧС. Єдиними документами, які носять рекомендаційний характер, є Рекомендації ITU-R SM.182 [83], SM.1536 [84] і SM.1793 [85].

На практиці найчастіше вживають два способи спостережень:

- 1) суб'єктивний, за яким спостереження та вимірювання виконуються операторами вручну протягом певного інтервалу часу;
- 2) об'єктивний, за яким спостереження та вимірювання виконуються автоматично протягом певного інтервалу часу.

Як правило, перший спосіб застосовується, головним чином, для розпізнавання та проведення аналізу випромінювань, а об'єктивний (автоматичний) спосіб дозволяє, крім цього, провести записи певних параметрів радіовипромінювань: частоти, часу зайнятості, напруженості поля, ширини смуги частот і, за потреби, відношення сигнал/шум і сигнал/завада.

Автоматичний контроль зайнятості спектра проводять двома основними методами:

- 1) скануванням того чи іншого конкретного каналу від частоти  $f_{start}$  до частоти  $f_{stop}$  за допомогою смугових фільтрів;
- 2) вимірюваннями в низці попередньо заданих каналів.

Зазвичай за першим методом застосовують аналізатор спектра, який має можливість періодичної зміни („качання”) частоти. За цим методом, можна отримати дані щодо зайнятості визначеної смуги частот за певний період часу, як правило, за 24 год. При цьому установки аналізатора спектра

залежать від значення ширини смуги сканування, час сканування — від обсягу необхідних даних, а вибраний пороговий рівень контролю повинен бути таким, щоб уникнути запису шумових сигналів (якщо є така можливість).

Вимірювання за другим методом виконують за допомогою вимірювального РПП, який автоматично сканує задані смуги частот. При цьому ширина смуги ПЧ фільтрів РПП повинна бути погодженою із шириною частотних каналів у контрольованих смугах.

Для багаторазового сканування смуг(и) частот і подальшого оперативного оброблення вимірів, отриманих за цими методами, у будь-якому випадку потрібна ПЕОМ зі спеціальним ПЗ.

Хоча автоматичні засоби моніторингу зайнятості спектра не можуть повністю замінити фізичні спостереження, Рекомендацією ITU-R SM.182 пропонується їх активно впроваджувати, при цьому бажано, щоб характеристики та параметри обладнання автоматичних засобів радіомоніторингу були не гірші таких:

- 1) діапазон частот:
  - мінімально необхідний - від 2 МГц до 2,7 ГГц;
  - бажаний - від 9 кГц до 10 ГГц і більше;
- 2) максимальна швидкість сканування - змінювана в залежності від бажаної роздільної здатності за частотою для певного частотного діапазону та класу радіовипромінювання;
- 3) смуга сканування: ,
  - для аналогового обладнання — змінювана від 20 кГц до 5 МГц;
  - для цифрового обладнання - змінювана від 20 кГц до 100 МГц;
- 4) кількість сканувань за хвилину - змінювана від 6 до 6000 з ручною зупинкою на заданій частоті;
- 5) чутливість — 1 мкВ/м або менше (для мінімально необхідного діапазону частот);
- 6) смуга пропускання — змінювана від 10 Гц до 10 кГц (для мінімально-необхідного діапазону частот);
- 7) контрольовані характеристики сигналів:
  - несуча частота;
  - ширина смуги частот;
  - напруженість поля;
  - тривалість сигналу;
- 8) вид реєстрації (запису) сигналу - комп'ютерний на магнітний носій у цифровому форматі.

Зазвичай для проведення аналізу зайнятості каналів необхідно мати комплект обладнання, до якого обов'язково входить вимірювальний РПП або аналізатор спектра з комп'ютерним керуванням. Найчастіше для автоматичного контролю зайнятості спектра застосовують вимірювальні РПП, які повинні відповідати таким вимогам [1]:

- 1) забезпечувати високу селективність за частотою;
- 2) мати досить вузькі фільтри ПЧ;

- 3) мати ступінчастий атенюатор;
- 4) мати можливість використання зовнішньої еталонної частоти;
- 5) мати можливість точного вимірювання напруженості електромагнітного поля;
- 6) мати можливість швидкого сканування вибраних каналів із смуги частот.

Для визначення зайнятості будь-якої певної смуги спектра настроювання РПП повинне змінюватися таким чином, щоб у відповідній смузі періодично приймалися всі частоти послідовно одна за одною. Тобто потрібно мати також пристрій автоматичного управління роботою РПП (пристрій "качання" частоти) та пристрій запису/відтворення вихідного сигналу РПП.

Приклад контролю зайнятості спектра для типового радіосигналу, рівень якого змінюється з часом, наведений на рис. 4.13 [1]. На рис. 4.13, а на спектрограмі сигналу вказаний вибраний пороговий рівень, стосовно якого проводиться контроль зайнятості. На рис. 4.13, б і 4.13, в показані вибірки разом з тими, які визначені, як "зайняті". У цьому прикладі 21 із 44 періодів вибірки зайняті, тому реєструється 48

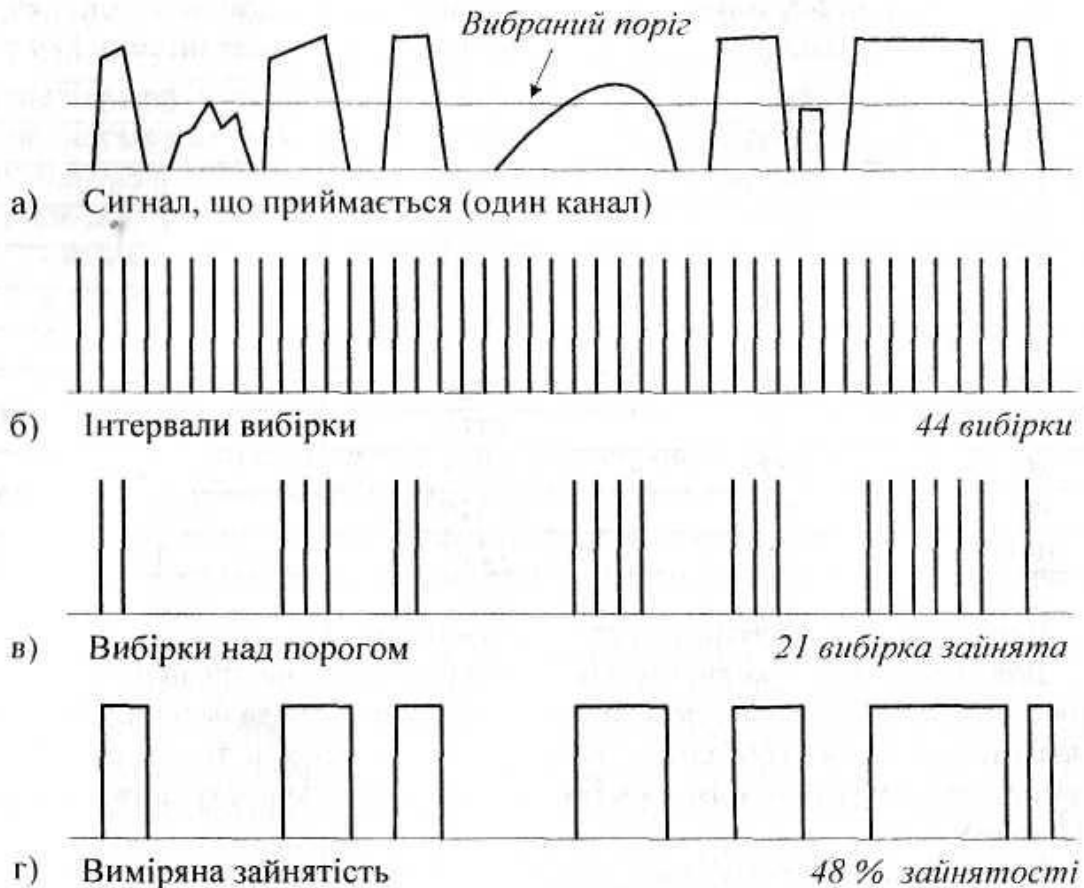


Рис. 4.13. Принцип контролю зайнятості спектра

% зайнятості спектра. Ці дані за потреби можуть бути об'єднані в однохвилинні, п'ятихвилинні чи п'ятнадцятихвилинні інтервали.

Цей метод контролю вважається традиційним. Він ґрунтується на контролі систематичних інтервалів із короткими проміжками часу між ними. Вимірювання проводяться протягом рівновіддалених проміжків часу. За цим методом достовірно оцінюється зайнятість каналу, якщо взята достатня кількість вибірок. У табл. 4.6 наведені дані стосовно кількості залежних і незалежних вибірок, необхідних для досягнення  $\pm 10\%$  відносної точності та  $95\%$  рівня достовірності в разі змінної зайнятості [83].

За даними табл. 4.6 випливає, що якщо зайнятість каналу становить  $100\%$ , то для отримання достовірного результату потрібна невелика кількість вибірок і небагато часу для проведення контролю. В разі низької зайнятості спектра для отримання такої ж точності та рівня достовірності потрібна значно більша кількість вибірок, хоча відповідно до Рекомендації ITU-R SM.182 з точки зору управління РЧР точні вимірювання для низьких зайнятостей спектра не мають вирішального значення.

■ Таблиця 4.6 - Кількість вибірок, необхідних для отримання обґрунтованої впевненості в результатах контролю

Зайнятість	Кількість необхідних незалежних вибірок	Кількість необхідних залежних вибірок	Необхідний час (у годинах) залежної вибірки (для інтервалів 4 с)
6,67	5850	18166	20,18
10	3600	12120	13,47
15	2600	8080	8,98
20	1950	6060	6,73
30	1300	4040	4,49
40	975	3030	3,37
50	780	2424	2,69
60	650	2020	2,24
70	557	1731	1,92
80	488	1515	1,68
90	433	1346	1,49
100	390	1212	1,35

Інші методи знаходяться на стадії розроблення [1].

Для різних типів користувачів РЧР властива різна тривалість передавання сигналів. Як правило, пакети даних коротші за тривалістю порівняно із сигналами мовлення. Тривалість передавання сигналів, а також статистика зайнятості визначаються відмінностями й у щільності користувачів у міських та сільських зонах.

Існує чіткий взаємозв'язок між тривалістю спостереження, кількістю каналів, середньою тривалістю передавання сигналу та тривалістю контролю

[1,85]. Час перегляду  $T$  каналу безпосередньо пов'язаний з часом спостереження  $t$  і кількістю каналів  $k$  співвідношенням

$$T = k * t + t_{обр} \quad (4.34)$$

де  $t_{обр}$  — час оброблення інформації.

Для цих вимірювань час спостереження повинен бути набагато меншим середньої тривалості передавання сигналу, тому для збереження прийняттого короткого часу перегляду в разі використання обладнання з порівняно високою інерційністю потрібно скорочувати кількість контрольованих каналів.

Загальний час, необхідний системі контролю для вимірювання, залежить від комбінації часу перегляду каналу, типової тривалості передачі і бажаної точності.

Загальноприйнятими нині є вимірювання зайнятості спектра кожні 15 хвилин, що дозволяє отримати й записати для наступного аналізу 96 вимірів за добу. У більшості випадків п'ятнадцятихвилинні зведені дані щодо зайнятості є компромісними між роздільною здатністю результатів вимірювань і обсягом пам'яті, необхідної для запису й оброблення отриманих вимірів. Практикуються також п'ятихвилинні вимірювання зайнятості, що потребує значно більшого обсягу пам'яті. На практиці періодичність оцінювання наявності випромінювання задається оператором у залежності від конкретної ситуації. При цьому треба мати на увазі, що чим більше інформації повинно бути зібрано, тим більше часу потрібно затратити на проведення вимірювань.

Після того, як дані щодо зайнятості спектра будуть зібрані, їх необхідно проаналізувати і пред'явити результати аналізу в прийнятному форматі. Звітна інформація може надаватися у виді таблиці, графіка, карти. При цьому відповідно до Рекомендації ITU-R SM.182 бажано, щоб у цих звітах обов'язково була представлена така інформація:

- назва й місцезнаходження РКП, на якому проводилися вимірювання;
- дата й період реєстрації сигналів;
- діапазон контрольованих частот або контрольована частота;
- ідентифікація зареєстрованого випромінювання (інформація стосовно користувача).

В разі можливості для кожного вимірюваного сигналу бажано вказати клас радіовипромінювання, пеленг і рівень шумів.

Приклад звіту у вигляді графіка представлений на рис. 4.14 [1].

Цей звіт складено за результатами одного неперервного вимірювання, проведеного протягом 14 днів за традиційним методом. Вибірки проводилися протягом кожних 15 хвилин і усереднювалися, в результаті чого за добу отримували 96 вибірок для одного каналу. Кожні окремі п'ятнадцяти-хвилинні вибірки, отримані протягом однієї години, усереднювалися ще раз, у результаті чого отримували поточну середню зайнятість. Зібрані дані були розділені на дві групи: отримані протягом робочих днів і отримані протягом вихідних днів. Усі значення були нанесені на графіки (вісь абсцис час, вісь ординат - відсоток зайнятості), які відобразили максимальну й поточну середню зайнятість одного каналу відповідно в робочі та вихідні дні. Верхня

лінія на графіках відображає максимальну зайнятість, нижня — поточну середню зайнятість. Час найбільшого завантаження, відмічений значком "\*", на рис. 4.14, а припадає на 15 год 15 хв, а нарис. 4.14, б - на 23 год 30 хв.

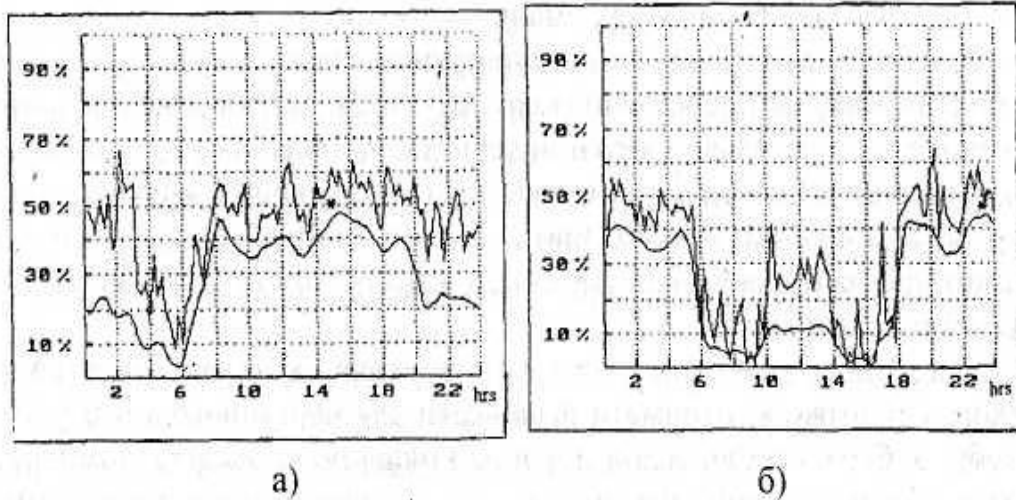


Рис. 4.14. Звіт про зайнятість одного каналу:  
а) з понеділка по п'ятницю; б) у суботу та неділю.

Іноді, замість звіту стосовно зайнятості певних каналів, доцільно мати інформацію про зайнятість спектра у визначеній смузі частот за певний інтервал часу, наприклад, протягом доби (рис. 4.15).

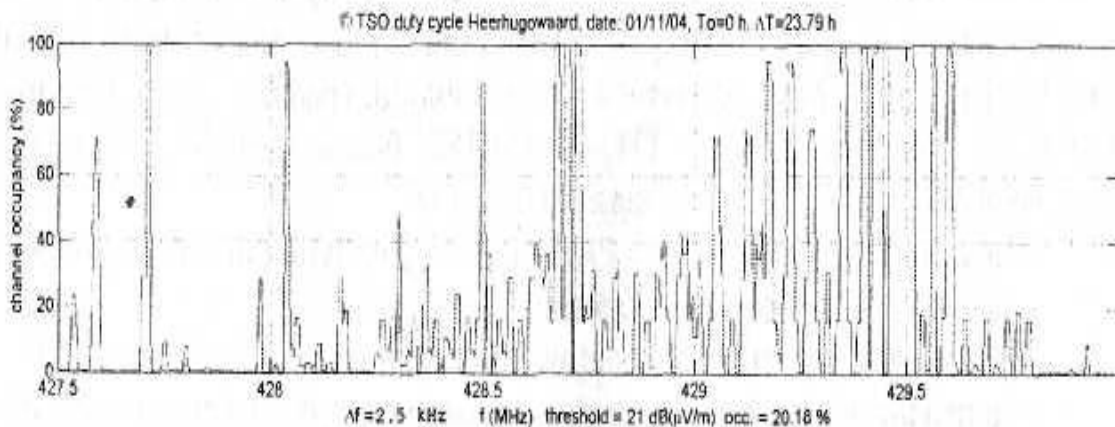


Рис. 4.15. Середня добова зайнятість каналу [85]

Для наочності відображення зайнятості певної смуги частот використовують також так звані „водоспадні" (або кольорові) діаграми зайнятості спектра, одна з яких зображена на рис. 4.16.

За потреби обміну даними стосовно зайнятості, наприклад, між зацікавленими адміністраціями, зокрема, в прикордонних зонах країн, або з метою надання допомоги у процесі проведення частотного присвоєння, необхідно вживати єдиний і однозначно визначений формат. При цьому рекомендується обмін даними стосовно зайнятості виконувати в електронному виді, використовуючи цифровий формат файлу ASCII (CSV), оскільки він читається загальними базами даних та програмами електронних таблиць і використовується в базах даних багатьох країн [85, 86].



## Розділ 5 ПЕЛЕНГУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ДРВ

### 5.1 Загальні принципи та методи визначення місцезнаходження ДРВ за допомогою радіопеленгації

У зв'язку з інтенсивним розвитком РЕЗ і систем, передавання інформації якими здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль у просторі, все актуальнішим стає завдання виявлення та ідентифікації ДРВ сигналів із невідомими параметрами.

Ідентифікація невідомого ДРВ може бути полегшеною, якщо є можливість установити його місцезнаходження за допомогою *радіопеленгації* - процесу визначення напрямку (пеленгу) на ДРВ із використанням поширення радіохвиль. Визначення місцезнаходження ДРВ - це встановлення його географічних координат за допомогою технічних засобів радіомоніторингу [1].

Під час проведення технічного радіоконтролю радіопеленгація стає необхідною для:

- визначення місцезнаходження ДРВ або несанкціонованого РЕЗ;
- визначення місцезнаходження РЕЗ або ВП, який заважає нормальній роботі іншим РЕЗ, і не може бути ідентифікований іншими засобами;
- визначення місцезнаходження джерел радіозавод штучного походження, таких як, наприклад, електроустановки, пошкоджені ізолятори на високовольтних лініях електропередач тощо;
- ідентифікації як відомих, так і невідомих РЕЗ [1].

Особливу актуальність в останні роки набуває ще одна галузь застосування радіопеленгації - виявлення та пеленгація сигналів із розширеним спектром частот. Одним із основних напрямків розвитку сучасних засобів і систем радіозв'язку спрямованих на підвищення рівня заводостійкості та захисту інформації, що передається, є використання сигналів із розширеним спектром частот, до яких відносяться, наприклад, сигнали з адаптивним і програмним перестроюванням робочої частоти. При цьому ефект захисту ширококутових ліній радіозв'язку досягається псевдовипадковістю параметрів (несучої частоти, фази) сигналів радіозв'язку з часом. За цих умов найінформативнішою та стійкою ознакою, що дозволяє виявити та ідентифікувати ширококутовий сигнал, є напрямок на його джерело.

Радіопеленгація базується на властивостях поширення радіохвиль найкоротшим шляхом з певною швидкістю і на принципах направленої радіоприймання. Якщо ДРВ знаходиться на поверхні Землі в точці Б (рис. 5.1, а) і для спрощення припустити, що поширення радіохвиль завжди відбувається

вдоль дуги великого кола, що з'єднує ДРВ і місце приймання радіовипромінювання (точка А), то за умови застосування відповідного приймального обладнання, що вказує напрямок на джерело сигналу, можна отримати істинний пеленг цього джерела - кут  $\alpha$  між північним напрямком меридіана і напрямком від спостерігача на ДРВ.

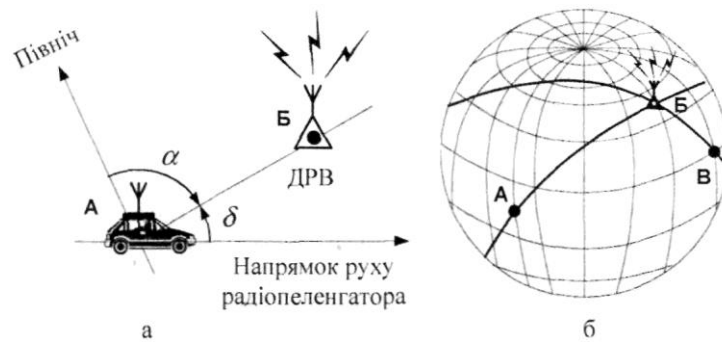


Рис. 5.1. Визначення: а - пеленга на ДРВ одним радіопеленгатором: б - місцезнаходження ДРВ двома радіопеленгаторами

Комплект обладнання (пристрій), призначений для визначення напрямку на джерело випромінювання електромагнітних коливань називається *радіопеленгатором*.

Найчастіше радіопеленг відрховується від північного напрямку меридіана за годинниковою стрілкою від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . При цьому пеленгування здійснюється шляхом обертання ДН пеленгаторної антени до отримання на виході РПП певного значення рівня сигналу ДРВ, що пеленгується. Якщо АС радіопеленгатора попередньо орієнтована відносно північного напрямку меридіана, то істинний пеленг визначається за кутом повороту ДН антени від її початкового положення. Кут між площиною меридіана точки спостереження й вертикальною площиною, що проходить через цю точку і спостережуваний предмет називається *азимутом*. Якщо ж АС пеленгатора попередньо орієнтована відносно подовжньої осі транспортного засобу, на якому встановлений пеленгатор, і пеленг визначається за кутом повороту ДН антени від цієї осі, то такий пеленг називається відносним або бортовим (кут  $\delta$  на рис. 5.1. а). Різниця між вимірним значенням азимута на ДРВ та істинним (справжнім) значенням азимута на це ДРВ визначає похибку пеленгування [1].

Під час вирішення завдань технічного радіоконтролю пеленгування ДРВ здійснюється, як правило, за азимутом.

За допомогою одного радіопеленгатора можна визначити тільки пеленг і, значить, азимут на ДРВ. Для визначення місцезнаходження ДРВ, що пеленгується, необхідно мати мінімум два радіопеленгатори, територіально рознесені на достатню відстань один від одного (рис. 5.1, б). Місцезнаходження працюючого ДРВ визначається точкою перетину ліній пеленгів від обох радіопеленгаторів, що знаходяться в точках А і В. Причому пеленги можуть бути отримані одночасно або послідовно. Однак за реальних умов пеленгування точне встановлення місцезнаходження ДРВ лише двома радіопеленгаторами внаслідок значних похибок визначення пеленгів буває утрудненим, особливо у великих містах та на значній відстані від пеленгаторів до ДРВ (рис. 5.2).

Очевидно, що для ефективного пеленгування ДРВ, необхідне виконання таких умов [87]:

- енергія (потужність) сигналу, що надходить на вхід вимірювального РПП, повинна бути достатньою для виявлення й вимірювання параметрів із заданими показниками якості;

- вимірювальний РПП повинен забезпечувати приймання сигналу на його несучій частоті;

- антена РПП повинна забезпечувати приймання сигналу відповідної поляризації та напрямку;

- РПП повинен забезпечувати приймання сигналу відповідних режимів

випромінювання (імпульсний, безперервний тощо).

Оскільки земна поверхня не плоска, то представляти лінії пеленгів прямими лініями можна тільки на відносно невеликих відстанях, які приблизно відповідають дальності прямої видимості. Для великих відстаней лінії пеленгів прокладаються у виді геодезичних ліній – ортодромій, які з'єднують найкоротшим шляхом дані точки земної поверхні.

Для пеленгування найважливішими є два аспекти [1]:

- достовірне зображення істинного напрямку на ДРВ;
- зображення дуги кола великого радіуса, що проходить через місце пеленгування, прямою лінією.

Нині в процесі проведення радіомоніторингу найчастіше застосовують класичний *триангуляційний (кутомірний) метод* оцінювання географічних координат ДРВ. Оскільки конкретне місцезнаходження ДРВ невідоме, то для якомога точнішого його визначення необхідно виміряти пеленги кількома територіально рознесеними радіопеленгаторами і на одному з них провести обчислення географічних координат ДРВ. При цьому, крім стаціонарних радіопеленгаторів, доцільно застосовувати хоча б один радіопеленгатор, розміщений на транспортному засобі, що дозволить оперативно вести пошук ДРВ або уточнити його місцезнаходження. Антени стаціонарних радіопеленгаторів установлюють, як правило, на дахах висотних будинків таким чином, щоб вони знаходилися вище інших будинків і щоб можна було повністю охопити район, який контролюється. Мінімальна кількість пеленгаторів для визначення місцезнаходження ДРВ - два, однак практично необхідна - не менше трьох (див. рис. 5.2 і 5.3), оскільки в цьому випадку перетин їхніх пеленгів створює трикутник, за яким можна розрахувати положення вірогідної точки місцезнаходження ДРВ.

Спрощений приклад визначення місцезнаходження ДРВ за допомогою пеленгів, отриманих трьома територіально рознесеними радіопеленгаторами, наведений на рис. 5.3.

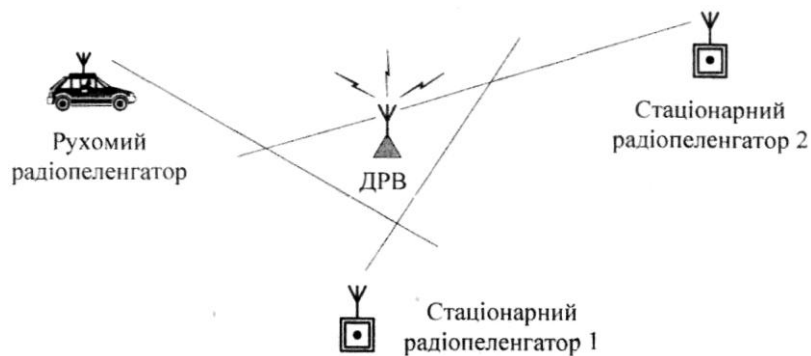


Рис. 5.3. Визначення місцезнаходження ДРВ триангуляційним методом  
Безсумнівними перевагами цього методу є [88]:

- відсутність потреби точної часової синхронізації роботи радіопеленгаторів;
- невеликий обсяг інформації, що передається від радіопеленгатора до місця, де відбувається визначення місцезнаходження ДРВ (наприклад, до одного із стаціонарних радіопеленгаторів);
- підвищена живучість - система зберігає повну працездатність у разі зменшення кількості радіопеленгаторів до двох.

Основні недоліки методу пов'язані з недоліками радіопеленгаторів:

- залежність похибки обчислення координат від взаємного розміщення радіопеленгатора і ДРВ;

- відносно висока вартість АС (особливо широкодіапазонних із коефіцієнтом перекриття за частотою більше 10);

- вплив на точність пеленгування виду модуляції та ширини спектра частот ДРВ (особливо для квазідоплерівських пеленгаторів).

Практично пеленгаційну „зарубку“, тобто точку перетину ліній пеленгів, можна отримати:

- під час синхронної роботи двох і більше стаціонарних пеленгаторів;
- під час роботи одного рухомого радіопеленгатора;
- за допомогою переносного радіопеленгатора;
- комбінованими методами, наприклад, під час синхронної роботи стаціонарного та рухомого радіопеленгаторів тощо.

Триангуляційний метод визначення місцезнаходження ДРВ в основному застосовується в діапазоні частот від 30 МГц до 3000 МГц.

Оскільки визначення місцезнаходження ДРВ ґрунтується на алгоритмі розрахунку його координат за значеннями вимірних пеленгів кількома ( $N$ ) радіопеленгаторами з відомими координатами власного місцезнаходження  $X_n$  і  $Y_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), то для виконання функцій керування процесом пеленгування також потрібні пост управління і спеціальний пост картографування, головним завданням яких є розрахунок місцезнаходження ДРВ, відображення на карті пеленгів, виявлених ДРВ та іншої супутньої інформації, а також ведення статистики. Територіальне розміщення постів може бути довільним, але, як правило, пости управління та картографування і один із радіопеленгаторів (в якості провідного) розміщують в одному місці, що спрощує радіозв'язок між ними та знижує витрати на засоби зв'язку. В той же час роботу інших радіопеленгаторів, територіально віддалених від провідного, доцільно організовувати так, щоб вони мали змогу працювати, як під дистанційним керуванням із поста управління, так і автономно під безпосереднім керуванням операторів.

За результатами спостережень кожен радіопеленгатор формує оцінку напрямку приходу плоскої радіохвилі від ДРВ - пеленг  $a_i$ . Розроблений цілий ряд методик визначення місцезнаходження ДРВ на основі аналізу вимірних пеленгів як у прямокутній декартовій системі координат. При цьому ігнорування радіуса кривизни Землі призводить до похибки визначення географічних координат, що не перевищує 1 м, за умови, що найбільша відстань між пеленгатором і ДРВ сягає 50 км [88].

В якості найпростішого алгоритму визначення координат ДРВ використовують оцінювання середнього значення координат точок перетину пеленгів (рис. 5.3).

Координати точки перетину пеленгів пеленгатора  $i$  та пеленгатора  $j$   $A_{ij}$  можуть бути знайдені з виразів

$$X_a = (d_j \sin a_i - d_i \sin a_j) / \sin (a_i - a_j), \quad (5.1)$$

$$Y_a = (d_j \cos a_i - d_i \cos a_j) / \sin (a_i - a_j), \quad (5.2)$$

де  $d_i = X_i \cos a_i - Y_i \sin a_i$  і  $d_j = X_j \cos a_j - Y_j \sin a_j$ .

В разі малих похибок пеленгування всі лінії пеленгів будуть перетинатися між собою й утворювати  $N(N-1)/2$  точок перетину  $A_{ij}$ , але у випадку, коли ДРВ знаходиться недалеко біля лінії, що з'єднує два радіопеленгатори, даний алгоритм призводить до суттєвих відхилень вимірів координат від їхніх істинних значень. Тому під час синтезу алгоритмів оцінювання місцезнаходження ДРВ необхідно враховувати взаємне геометричне розміщення пеленгаторів. В якості такого

оцінювання в радіонавігації широко застосовується евристичне оцінювання за критерієм найменших квадратів відстаней до ліній вимірних пеленгів. Принцип дії даного алгоритму зображений на рис. 5.4. Величини  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  являють собою перпендикуляри, опущені з точки ймовірного місцезнаходження ДРВ на лінії пеленгів. Причому точка, в якій сума квадратів  $\sum_{i=1}^N r_n^2$  мінімальна, і буде місцем, в якому знаходиться ДРВ. Очевидно, що для системи визначення місцезнаходження ДРВ трьома радіопеленгаторами найменша похибка буде в тому випадку, коли лінії пеленгів, що пересікаються, утворять правильний трикутник.

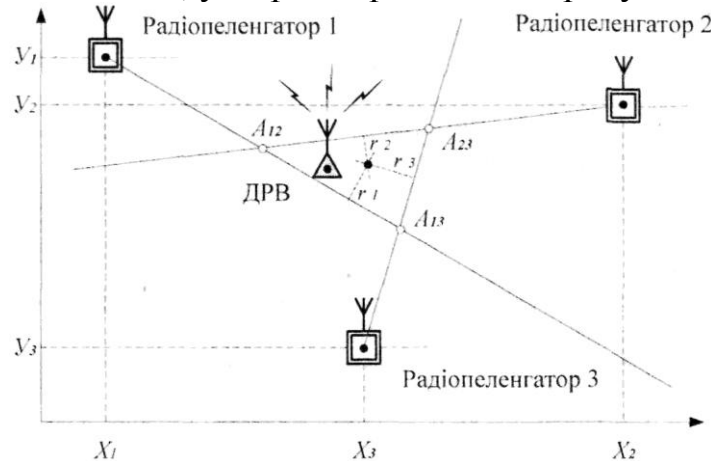


Рис. 5.4. Принцип визначення координат ДРВ трьома радіопеленгаторами

До недоліків алгоритму оцінювання за критерієм найменших квадратів можна віднести те, що він не враховує рівновіддаленість пеленгаторів від ДРВ, а також можливу різну точність пеленгів. Наявність завмирань під час поширення радіосигналів також може суттєво позначитися на точності пеленгування.

В разі застосування територіально - розподіленої системи пеленгування підвищити точність визначення місцезнаходження ДРВ дозволяє наявність хоча б одного рухомого радіопеленгатора. Однією з особливостей застосування рухомого радіопеленгатора є необхідність визначення координат власного місцезнаходження та курсового кута, що вирішується за допомогою різного роду навігаційних систем, серед яких найпоширенішою є система, що базується на глобальній супутниковій навігаційній системі NAVSTAR GPS [1]. Тому кожен рухомий пеленгатор обладнується приймачем GPS. У сучасних рухомих радіопеленгаторах точність вимірювання координат власного місцезнаходження залежить від застосованого обладнання, особливостей рельєфу місцевості і складає від 5 м до 30 м (без диференціальної корекції), а точність вимірювання курсового кута залежить від довжини базової лінії і складає від 1° до 2° для відстані між антенами приймачів GPS близько 1 м [88].

До одного з найважливіших чинників, що впливає на ефективність територіально - розподіленої системи пеленгування, відноситься організація зв'язку між радіопеленгаторами. Нині найзручнішими для організації обміну інформації в автоматизованій системі є мережі зв'язку, в яких фізичними носіями інформації можуть бути проводові лінії, коаксіальні та оптоволоконні кабелі, радіоканали, причому прикладне ПЗ, що призначене для керування передаванням інформації цими мережами, не залежить від вибраного носія інформації і може бути налаштоване на роботу з будь-яким із них.

Для визначення місцезнаходження ДРВ за даними пеленгування потрібно мати цифрову карту, на яку наносяться пеленги, отримані кожним пеленгатором, і

вказане їхнє власне місцезнаходження. У випадку використання у складі системи визначення місцезнаходження ДРВ рухомих радіопеленгаторів необхідно також постійно враховувати та відображати на карті навігаційну інформацію, що динамічно змінюється, тобто дані про місцезнаходження та азимути рухомих пеленгаторів. Тому ці карти разом із даними GPS є важливим засобом визначення місцезнаходження та курсових кутів рухомих пеленгаторів.

Щоб отримати вірні результати, вказаний на карті кут повинен відповідати такому ж кутові на місцевості. Для гарантування виконання цієї вимоги необхідно враховувати пов'язані з використанням карт проблеми, наприклад, різні типи картографічних проекцій та їхні характеристики, що мають відношення до призначення даної карти. Одна із проблем полягає в тому, щоб якомога точніше відобразити сферичну поверхню Землі на площині, оскільки не існує способів перетворення сферичної поверхні в плоску без спотворень.

До картографічної системи відображення місцезнаходження ДРВ і пеленгаторів на місцевості, пред'являються такі основні вимоги [88]:

- можливість використання як растрових так і векторних карт, що пов'язано з незначним розвитком ринку векторних карт на даний час;

- потреба певних ресурсів для роботи, включаючи оперативну пам'ять ПЕОМ і швидкість оброблення інформації, що зумовлено необхідністю роботи системи на одному комп'ютері з декількома картографічними додатками, які інтенсивно використовують його пам'ять та обчислювальний ресурс;

- швидкодія в процесі зміни масштабу або „прокручування” карти, що потрібно в разі керування процесом пеленгування з клавіатури ПЕОМ;

- наявність засобів розроблення й поширення картографічних додатків;

- незалежність карти місцевості та даних користувача;

- наявність відкритого інтерфейсу доступу з боку зовнішніх програм для забезпечення можливості розширення обсягу інформації та паралельного виведення результатів роботи декількох програм.

Картографічна система повинна забезпечувати відображення [9]:

- місцезнаходження антен радіопередавачів (розміщених в обумовленому регіоні, передавачів певного типу, передавачів, які працюють у заданому діапазоні частот, незареєстрованих ДРВ тощо);

- безпосередньо на карті інформації щодо вибраного радіопередавача: його технічні параметри, результати моніторингу й технічного радіоконтролю, терміни планових перевірок тощо;

- розміщення РКП (у тому числі, динамічне відображення поточного положення мобільного комплексу радіомоніторингу, обладнаного радіопеленгатором) і зон дії вибраних РКП;

- процесу радіопеленгування та (або) його результатів із відображенням пеленгів на карті;

- зон або джерел індустриальних завод із зазначенням їхніх параметрів;

- даних ЕМС за результатами роботи зовнішніх програм.

До складу картографічної системи повинна входити спеціалізована база даних, яка дозволяє зберігати і в подальшому використовувати інформацію про пеленги та виявлені ДРВ з їхніми основними характеристиками: несучою частотою, часом виявлення або отримання пеленга, смуги займаних частот тощо.

## **5.2 Визначення місцезнаходження ДРВ наземними рухомими комплексами радіомоніторингу та радіоконтролю**

Зі збільшенням кількості РЕЗ все проблематичнішим стає вирішення завдання щодо точного визначення місцезнаходження джерел радіозавод або інших невідомих ДРВ. Особливо тяжко визначити за допомогою стаціонарних радіопеленгаторів місцезнаходження невідомих ДРВ у щільно забудованих міських зонах. У таких випадках можуть використовуватися рухомі радіопеленгатори і портативне обладнання радіопеленгування. При цьому радіопеленгатор встановлюється на будь-який транспортний засіб, який має для цього необхідні умови (обладнання, джерело електроживлення, можливість розміщення антен тощо). До рухомих засобів пеленгування також відносять переносні радіопеленгатори, які для проведення вимірювань можна встановлювати та розгортати в потрібному місці. Використання рухомих і переносних радіопеленгаторів дозволяє застосувати меншу кількість стаціонарних пеленгаторів.

Основна перевага рухомих радіопеленгаторів порівняно зі стаціонарними - це можливість проведення радіопеленгування під час руху транспортного засобу, що дозволяє шляхом вимірювання пеленгів протягом певного часу, наприклад, двома рухомими пеленгаторами, обладнаними відповідними засобами радіозв'язку, досить швидко визначити координати місцезнаходження джерела радіозавод або невідомого ДРВ.

Рухомі радіопеленгатори найчастіше застосовуються для визначення місцезнаходження ДРВ:

- з малою випромінюваною потужністю;
- у разі низької точності оцінювання місцезнаходження ДРВ стаціонарними радіопеленгаторами;
- за межами зони радіодосягнення стаціонарних радіопеленгаторів;
- для уточнення місцезнаходження ДРВ в умовах щільної міської забудови;
- у важкодоступних місцях, де проведення радіопеленгування іншими засобами неможливе.

Розрізняють два основні методи пеленгування за допомогою рухомих радіопеленгаторів [1]:

- метод відсторонення (послідовних „зарубок”);
- приводний метод (самонаведення).

Метод відсторонення (послідовних „зарубок”) полягає в переміщенні радіопеленгатора навколо місця можливого знаходження ДРВ, отриманні декількох окремих пеленгів із вибраних фіксованих позицій, які знаходяться на певній відстані від ДРВ і залежать від точності пеленгатора, особливостей місцевості, де проводиться пеленгування, та інших умов, і вирішенні триангуляційної задачі аналогічно, як у випадку з територіально рознесеними радіопеленгаторами (рис. 5.3). Цей метод ще називають квазістаціонарним.

Під час проведення пеленгування за цим методом доцільно, щоб радіопеленгатор знаходився на домінуючій висоті і подалі від джерел систематичних радіозавод: високих будівель і споруд, ліній електропередач, трамвайних і залізничних колій, металевих огорож тощо.

Переваги методу:

- можливість використання Виносної антени на щоглі, що дозволяє отримати більшу чутливість точність пеленгування порівняно з антеною, розміщеною на даху автотранспортного засобу;
- наочність отриманих результатів;
- можливість роботи на значній відстані від ДРВ.

Недоліки методу:

- схильність до впливу на виміри радіозавод, які створюються навколишніми об'єктами;
- неможливість проведення одночасних вимірювань у декількох пунктах, внаслідок чого можуть вноситися похибки в результати визначення місцезнаходження рухомого ДРВ або у випадку незначної тривалості передавання ним сигналу;
- суттєві витрати часу на проведення пеленгування.

Для роботи за цим методом рухомий радіопеленгатор повинен мати малу інструментальну похибку пеленгування, крім цього, бажано, щоб він був захищеним від впливу когерентних завод. З метою ефективного застосування методу доцільно заздалегідь виконати пошук позицій, придатних для пеленгування ДРВ у заданому районі, і відпрацювати маршрут швидкого переміщення радіопеленгатора від однієї позиції до іншої.

Приводний метод базується на пеленгуванні ДРВ під час руху радіопеленгатора в напрямку приходу радіохвилі (в напрямку пеленга) з наступним усередненням пеленгів, які в процесі руху можуть змінюватися з різних причин. Зі зменшенням відстані до ДРВ збільшується амплітуда радіосигналу, який пеленгується, що служить додатковою ознакою руху радіопеленгатора у вірному напрямку, і зменшується значення абсолютної похибки відстані, навіть якщо відносна похибка (в градусах) залишається постійною. При цьому використовується рухоме обладнання мінімальної складності та середньої точності і затрати часу для отримання результатів пеленгування незначні. Вплив радіозавод, що створюються навколишніми об'єктами в даному випадку, менший, оскільки, внаслідок руху радіопеленгатора значення похибок усереднюються на довгій лінійній базі.

Недоліки методу:

- для якомога точнішого визначення місцезнаходження ДРВ необхідно, щоб радіопеленгатор працював протягом тривалого часу;
- низька скритність.

Визначення місцезнаходження ДРВ одним рухомим радіопеленгатором вимагає значно більших затрат часу, ніж у разі використання високоточних стаціонарних радіопеленгаторів. Робота за цими методами досить тривала і в межах великого міста вимагає затрат часу від 1 год до 3 год. При цьому загальний час пошуку залежить від умов пеленгування, типу та якості радіопеленгатора і може бути зменшений у (1,5 - 2) рази за умови застосування точнішого та стійкішого до завод пеленгатора.

Визначення місцезнаходження ДРВ за пеленгами, отриманими від радіопеленгаторів мобільних комплексів радіомоніторингу, практично може бути утруднене через можливі спотворення напруженості поля за рахунок відбиттів сигналу цього ДРВ в іоносфері або через вплив перешкод поблизу радіопеленгаторного обладнання. Особливо ускладнюється процес визначення місцезнаходження ДРВ за умов великого міста, де електромагнітне поле, що приймається радіопеленгатором, завжди є сумарним результатом багатьох випадкових складників, зумовлених дифракцією радіохвиль і їх відбиттям від нерівностей рельєфу місцевості, будівель і споруд, побудованих із різних матеріалів, ліній електропередач, автомобілів тощо. Оскільки ці складники мають випадкові рівні амплітуд і фаз, то сумарне поле також буде змінюватися. Становище погіршується також тим, що в місті в більшості випадків між антеною ДРВ, що пеленгується, та антеною радіопеленгатора відсутня пряма видимість. Істинні пеленги



можна отримати лише в тому випадку, якщо поширення радіовипромінювання здійснюється переважно земними хвилями, оскільки відбиті радіохвилі піддаються втратам до 6 дБ відносно земних хвиль.

Точність пеленга, отримана у випадку приймання сигналів земної хвилі з незначними відбиттями, складає близько  $\pm 2^\circ$ . Для інших практичних умов пеленгування може бути досягнута точність  $\pm 5^\circ$ , яку можна підвищити, якщо обчислювати середнє значення пеленгів. З метою отримання якомога точніших результатів пеленгування радіопеленгаторне обладнання повинне бути ретельно відкаліброване разом з власними антенами та з іншим обладнанням, що встановлене на даху транспортного засобу. Для періодичної перевірки характеристик системи можна використовувати контрольні пеленги на відомі передавачі.

Радіопеленгатори мобільних комплексів радіомоніторингу мають перевагу перед пеленгаторами стаціонарних РКП, оскільки практично завжди можна вибрати таке місце для мобільного комплексу радіомоніторингу, де буде відсутній або суттєво знижений вплив перешкод на результати вимірювання, а місцеві відбиття радіосигналів будуть мінімальними. Крім цього, рухомі пеленгатори, на відміну від стаціонарних, з метою зведення значень похибок до мінімальних, завжди можуть поступово рухатися на транспортному засобі в напрямку на ДРВ. Але мобільний комплекс радіомоніторингу порівняно зі стаціонарним РКП має один суттєвий недолік, а саме - недостатність місця на ньому для розміщення гостронаправлених антен, які виключають вплив на результати вимірювання відбитих хвиль. Тому, враховуючи брак місця для розміщення габаритних антен і незручність роботи з ними під час руху, використовують багатоелементні антенні решітки з малою апертурою [1].

В діапазоні ДВЧ/УВЧ дуже корисне розміщення радіопеленгаторних антен на телескопічних щоглах, керованих із транспортного засобу, бо з їхньою допомогою можна підняти антену над перешкодами, що знаходяться біля місця проведення технічного радіоконтролю чи пеленгування, та виконати вимірювання на різних висотах з антеною, орієнтованою в потрібних напрямках.

Конструкція наземних мобільних комплексів радіомоніторингу визначається особливостями та специфікою завдань, які вони повинні вирішувати. Якщо мобільні комплекси призначені для контролю параметрів сигналів і визначення місцезнаходження ДРВ (такі комплекси називаються спеціалізованими), то до їх складу повинні входити такі основні системи:

- 1) виявлення та технічного аналізу спектра сигналу ДРВ;
- 2) пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ;
- 3) визначення власного місцезнаходження;
- 4) радіозв'язку та передавання даних;
- 5) автоматичного оброблення даних (ПЕОМ із функціональним ПЗ).

Радіопеленгаторне обладнання повинне забезпечувати візуальне відтворення пеленгів на ДРВ на екрані дисплею (рис. 5.2). Такий дисплей може бути або частиною пеленгаторного обладнання, або входити до складу ПЕОМ, якщо радіопеленгатор нею обладнаний. Причому бажано інформацію надавати в більш зрозумілому графічному вигляді, ніж просто в цифровому. Корисне також відтворення на екрані спектра частот сигналу ДРВ, який пеленгується.

### **5.3 Основні показники якості радіопеленгаторів**

До найважливіших показників якості радіопеленгаторів відносяться:

- точність пеленгування;

- чутливість;
- завадостійкість;
- швидкодія;
- розрізнювальна здатність;
- діапазон робочих частот;
- вид сигналу, що пеленгується;
- час розгортання;
- маса та габаритні розміри;
- складність експлуатації.

### 5.3.1 Точність пеленгування

За реальних умов пеленгування ДРВ можливість отримання якісних пеленгів суттєво ускладнюється внаслідок [90]:

- складної заводової обстановки, яка характеризується розширенням діапазону спектра сигналу, зменшенням частотного інтервалу між виділеними смугами частот (каналами), високим завантаженням та інтенсивністю роботи РЕЗ;
- різних умов поширення радіохвиль у різних частотних діапазонах, що призводить до суттєвих відмінностей структури електромагнітних полів радіосигналів за поляризаційними та часовими параметрами, часто невідомими;
- необхідності широкого сканування (огляду) в горизонтальній (у межах 360°) і вертикальній (до 90°) площинах;
- великої кількості джерел спотворення електромагнітних хвиль ДРВ, які пеленгуються;
- великого (більше 120 дБ) динамічного діапазону радіосигналів.

До основних чинників, які суттєво впливають на точність пеленгування ДРВ, відносяться [1]:

- похибка, що зумовлена обладнанням радіопеленгатора чи методом пеленгування;
- місцезнаходження радіопеленгатора;
- особливість поширення радіохвиль;
- суб'єктивні помилки.

**Похибка, що зумовлена обладнанням радіопеленгатора чи методом пеленгування** - інструментальна (апаратурна) похибка - це похибка відліку пеленга за умов наближених до ідеальних (у разі відсутності відбиття сигналу, впливу рельєфу земної поверхні, радіозавад, спотворень поляризації тощо), приймання сигналу заданої поляризації і рівня в місці розміщення радіопеленгатора та отримання відліку пеленга протягом заданого (робочого) часу пеленгування [15]. Вона викликана, в основному, похибками обраного методу пеленгування, а також недосконалістю виготовлення і неточністю регулювання самого радіопеленгатора та складових частин, зокрема, неточністю виготовлення АФС. відмінностями в характеристиках її антенних елементів і фідерних трактів тощо.

Інструментальна похибка - це потенційна точність радіопеленгатора, що визначається як середньоквадратична помилка пеленгування в усьому робочому діапазоні частот і діапазоні кутів приходу сигналу (азимутів) за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^N (\alpha_l - \alpha_l^*)^2}{N}},$$

(5.3)

де  $\alpha_l$  - пеленг ( $l = 1, 2, \dots, N$ );

$\alpha_l^*$  - істинний (справжній) азимут;

$N$  - кількість азимутів, використаних під час розрахунків.

В основному інструментальна похибка є систематичною помилкою, яка може бути врахована шляхом внесення відповідних поправок до результатів пеленгування, але в ній може бути присутній випадковий складник, викликаний, наприклад, методом оброблення інформації, дискретністю відліків тощо. На відміну від систематичних похибок для випадкових помилок характерною особливістю є те, що вони виникають унаслідок впливу багатьох незалежних чинників, дія яких у процесі переходу від одного вимірювання до іншого змінюється, тому не можуть бути враховані внесенням якихось поправок до вимірів. Інші похибки радіопеленгаторів, що зумовлені впливом середовища поширення радіохвиль (наприклад, іоносфери), шумів (наприклад, унаслідок низького відношення сигнал/шум у певному місці) до інструментальної похибки не включаються. В цілому інструментальна похибка може бути зменшена шляхом калібрування обладнання за частотою та кутом приходу сигналу.

**Похибки, зумовлені місцезнаходженням радіопеленгатора (його АС),** викликаються вторинними електромагнітними полями, що появляються внаслідок нерівностей рельєфу місцевості або особливостей ландшафту поблизу радіопеленгатора, і призводять до суттєвого спотворення фронту хвилі електромагнітного поля ДРВ, яке пеленгується. Вони залежать від напрямку на ДРВ та частоти його радіовипромінювання і можуть розглядатися як змінні похибки.

В мобільних радіопеленгаторах, в яких АС розміщена на даху автотранспортного засобу, в результаті вторинного випромінювання внаслідок відбиття радіохвиль від металевих корпусних частин автомобіля ДН АС спотворюється, що призводить до збільшення помилок пеленгування, які на окремих азимутах можуть сягати від  $15^\circ$  до  $20^\circ$ . Вплив корпусу автотранспортного засобу на помилки пеленгування теоретично може бути врахований під час визначення напрямку на ДРВ з урахуванням дифракції електромагнітних хвиль, що приймаються антеною, але за реальних умов автомобіль і оточуючі його об'єкти мають складну форму взаємозв'язку, тому теоретичне вирішення задачі дифракції приводить до дуже громіздких розрахунків. Крім цього, розрахунки не завжди дають вірні результати, оскільки інколи просто неможливо врахувати всі індивідуальні особливості корпусу та електропровідних властивостей автомобіля, наприклад, розміри і точну форму його вікон, дверей, особливості поверхні даху тощо. Ситуація ще більше ускладнюється, коли на автотранспортному засобі є елементи, які можуть викликати резонансні ефекти, наприклад, кронштейни кріплення АС, вентиляційні люки, антени систем зв'язку тощо. Похибки пеленгування на частотах резонансу можуть перевищувати  $30^\circ$ , тому за умов суттєвого впливу на результати пеленгування корпусу більш прийнятні методи, що ґрунтуються на використанні експериментальних даних, отриманих для конкретної АС на конкретному автотранспортному засобі. Якщо під час вимірювань виявляються резонансні ефекти, то проводиться пошук причин, що ці ефекти викликають, і їх усунення (якщо це можливо), наприклад, шляхом створення гальванічного зв'язку резонуючого елемента із шасі автомобіля [10].

**Похибки, зумовлені особливістю поширення радіохвиль,** виникають у зв'язку з неоднорідністю умов їх поширення, що може призвести до бокових відхилень напрямку поширення радіохвиль відносно напрямку дуги великого кола між ДРВ і радіопеленгатором. Крім цього, неоднорідність умов поширення радіохвиль також призводить до поляризаційних похибок, які у випадку

іоносферного поширення можуть бути неоднаковими в різні моменти часу. Ці чинники призводять до спотворення електромагнітного поля, тому на практиці особливо важливою є поведінка радіопеленгатора за реальних умов роботи.

Незалежно від методу пеленгування, кожен радіопеленгатор отримує інформацію про напрямок на ДРВ за рівнем електромагнітного поля, яке прийнято вважати однорідним за умови не спотвореного поширення радіохвиль. В цьому ідеальному випадку, що фактично навряд чи можливий, хвильові фронти прийнято вважати плоскими, тобто такими, що являють собою прямі паралельні лінії з рівними фазами та рівними амплітудами.

На шляху поширення електромагнітні хвилі відбиваються від перешкод і піддаються дифракції від їхніх країв. У діапазоні ВЧ можливе також їхнє багатопроменеве приймання через особливі, головним чином, залежні від частоти, умови поширення. В результаті появляються завади і початковий плоский фронт хвилі спотворюється. Різноманітність спотворень викликається також певними співвідношеннями амплітуд, фаз, кількості взаємно інтерферованих хвиль і відмінністю кутів їх приходу.

АС радіопеленгатора може сприймати лише невелику частину фронту хвилі, значення якої залежить від розміру  $d$  апертури (бази) антени. Напрямок на ДРВ, визначений радіопеленгатором, завжди являє собою лінію, що перпендикулярна усередненій частині фронту хвилі. Тому в залежності від розмірів апертури антени в спотвореному полі можуть бути отримані найрізноманітніші результати (рис. 5.5).

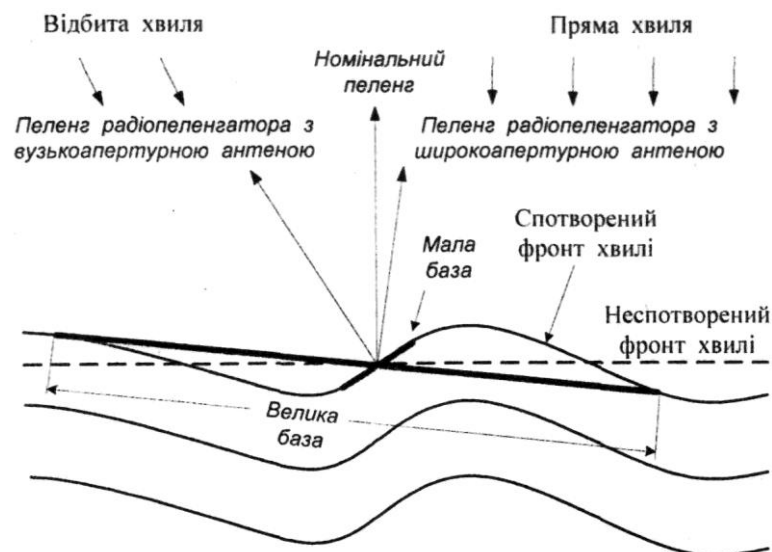


Рис. 5.5. Приймання радіохвиль широкоапертурною та вузькоапертурною антенами радіопеленгаторами

У зв'язку з цим для зменшення рівня похибок, викликаних спотворенням електромагнітного поля, рекомендують вибирати радіопеленгаторні антени з більшими (відносно довжини хвилі  $\lambda$ ) розмірами. Широкоапертурні радіопеленгаторні антени або, так звані, антени з широким розкритом характеризуються відношенням  $d/\lambda > 1$ , а вузькоапертурні - відношенням  $d/\lambda < 0,5$ . Проміжні співвідношення поширюються на середньоапертурні антени [1]. Широкоапертурні радіопеленгаторні антени ослаблюють вплив багатопроменевості на результати вимірювання, забезпечують порівняно з вузькоапертурними антенами більше відношення сигнал/шум і менший рівень похибок радіопеленгації.

Зміни напрямку поширення радіохвиль унаслідок неоднорідності умов їх

поширення можуть бути повільними або швидкими, тому не можна бути впевненим у точності пеленга, якщо спостереження проводяться лише протягом декількох хвилин, оскільки в даному випадку не враховується вплив на виміри повільних змін напрямку поширення радіохвиль. У зв'язку з цим для врахування дії цього чинника необхідно збільшити тривалість спостережень, при цьому для підвищення точності немає сенсу проводити більше десяти вимірювань підряд, але їх необхідно повторювати з інтервалами не менше однієї години.

**Суб'єктивні помилки** - це помилки операторів радіоконтролю, за винятком випадкових, які зумовлені неточністю відліку оператором пеленга, а також тим, що, пеленгуючи та вимірюючи параметри одного й того ж ДРВ, оператори схильні брати близькі одні до других цифри. Ця тенденція більше проявляється в процесі роботи в ручному режимі пеленгування, ніж в автоматичному. Суб'єктивні помилки залежать від чутливості радіопеленгатора, напруженості електромагнітного поля ДРВ, що пеленгується, досвіду та індивідуальних здібностей оператора. Підвищення точності пеленгування за рахунок зменшення суб'єктивних помилок досягається шляхом проведення багаторазового пеленгування.

До додаткового складника суб'єктивної помилки, може бути також віднесена похибка пеленгів, яка пов'язана з точністю установки оператором опорного рівня (істинної півночі), що особливо важливо для рухомих і переносних радіопеленгаторів [1].

Під час експлуатації радіопеленгатора всі похибки пеленгування, за винятком інструментальної, пов'язані з реальними умовами його роботи. При цьому інструментальна похибка пеленгатора є складником його експлуатаційної похибки. Та визначення лише інструментальної похибки пеленгатора не може повністю охарактеризувати його експлуатаційну точність. З іншого боку, визначення лише експлуатаційної точності також не достатньо, оскільки залишається невідомим, яку частину похибок можна зменшити покращенням конструкції радіопеленгатора, а яку, наприклад, розміщенням пеленгатора в певному місці. Тому завжди бажане проведення якомога повнішого дослідження пеленгатора з метою з'ясування його інструментальної та експлуатаційної похибок.

У процесі експлуатаційних випробувань радіопеленгаторів помилка пеленгування визначається лише розміщенням пеленгатора, тобто для радіопеленгатора експлуатаційна похибка - це практично інструментальна похибка плюс похибка за рахунок дії когерентних завад, що виникають унаслідок додаткового відбивання сигналу під впливом оточуючого його середовища, в результаті чого багаторазово відбитий сигнал може приходити з напрямку, відмінного від дійсного напрямку на ДРВ. Зрозуміло, що експлуатаційна похибка завжди гірша за інструментальну, тому в процесі експлуатації радіопеленгаторів завжди потрібно, якщо це можливо, вживати заходи щодо зменшення впливу на виміри зовнішніх чинників, які знижують точність пеленгування. Реальна експлуатаційна похибка пеленгування об'єктивно може бути визначена лише статистичними методами за умови проведення спеціальних експлуатаційних випробувань і є визначальною характеристикою пеленгатора.

Інколи експлуатаційну похибку радіопеленгатора визначають лише для таких ситуацій, які дають помилку пеленга в межах деякого припустимого значення, при цьому окремо визначають відсоток (або ймовірність) ситуації, коли пеленг

може перевищити це припустиме значення. Такі пеленги називають недостовірними і ймовірність їх отримання є важливою характеристикою радіопеленгатора. Зазвичай ці пеленги не враховуються в процесі визначення місцезнаходження ДРВ, але якщо ймовірність отримання їх досить висока (наприклад, більше 10 %), то необхідно мати таку надлишкову кількість радіопеленгаторів, щоб у разі виключення з процесу пеленгування хоча б одного з них залишилося ще три пеленгатори для визначення місцезнаходження ДРВ.

Ймовірності отримання недостовірних пеленгів різними типами радіопеленгаторів визначають на основі аналізу результатів конкретних умов їхньої експлуатації. При цьому виділяють дві основні групи типових умов експлуатації:

- найбільш наближені до ідеальних (АС радіопеленгатора знаходиться над дахами найвищих будівель, рельєф місцевості плоский, забудова наближена до рівномірної);

- суттєво відрізняються від ідеальних (поблизу АС радіопеленгатора присутні об'єкти чи предмети, від яких відбиваються радіосигнали, або висота, на якій знаходиться антена пеленгатора, менша середньої висоти забудови, чи мають місце суттєво нерівномірна забудова та порізаний рельєф місцевості).

Для експлуатації різних типів радіопеленгаторів за цих умов орієнтовна оцінка відсотків отримання ними недостовірних пеленгів наведена в табл. 5.1 [91].

Таблиця 5.1 - Орієнтовні значення відсотків отримання недостовірних пеленгів у залежності від умов експлуатації

Умови експлуатації	Тип радіопеленгатора		
	Квазі-доплерівський	Інтерферометр и	3 формуванням
Близькі до ідеальних	від 5 % до 7 %	від 3 % до 5 %	від 1 % до 2 %
Суттєво відмінні від ідеальних	від 15% до 20%	від 10% до 15%	від 3 % до 5 %

### 5.3.2 Технічні характеристики й параметри радіопеленгаторів

**Чутливість радіопеленгатора** визначає його здатність пеленгувати віддалені та малопотужні ДРВ. Як правило, під чутливістю мають на увазі таке значення напруженості електромагнітного поля, за якого пеленгування

проводиться з дотриманням заданих характеристик пеленгації, наприклад, значення середньоквадратичної помилки. Чутливість радіопеленгатора в основному визначається чутливістю його приймальних трактів, конструкцією АС і алгоритмом обчислення пеленга.

Якщо напруженість електромагнітного поля сигналу, що пеленгується, зменшується, то за рахунок впливу внутрішніх шумів і зовнішніх радіозавад середньоквадратична помилка пеленгування зростає. Таким чином точність і чутливість радіопеленгатора взаємозалежні параметри, тому зазначення чутливості радіопеленгатора, вираженої в одиницях напруженості поля, або густини потоку потужності, повинне завжди супроводжуватися відповідним їй значенням середньоквадратичної помилки пеленгування.

Крім цього, середньоквадратична помилка пеленгування і відповідно точність пеленгування залежать від часу пеленгування (кількості вимірювань).

Найчастіше виробники радіопеленгаторів зазначають дані щодо чутливості пеленгаторного обладнання за усередненими вимірами протягом 1 с

На рис. 5.6 наведено графіки залежності чутливості портативного радіопеленгатора "Артикул-П" (Російська Федерація) від частоти та кількості пеленгів [10].

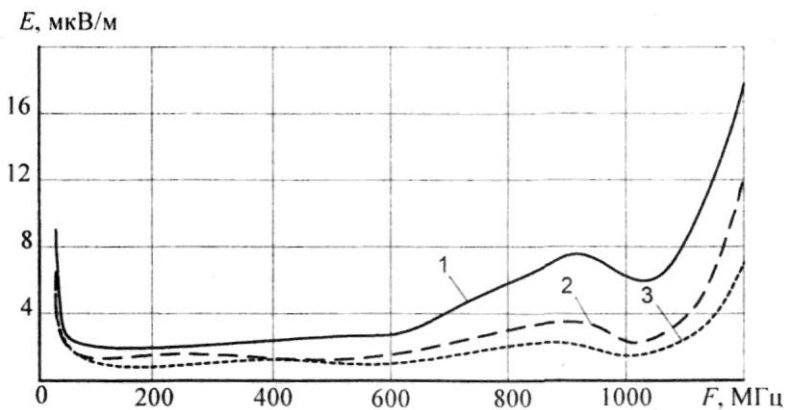


Рис. 5.6. Залежність чутливості радіопеленгатора "Артикул-П" від частоти та кількості пеленгів

З наведених графіків очевидно, що чутливість радіопеленгатора залежить від частоти. Для даного типу пеленгатора ця залежність зумовлена конструкцією активних елементів АС пеленгатора. Зі збільшенням кількості пеленгів, які усереднюються в процесі оброблення інформації, чутливість покращується. Так, наприклад, на частоті 1000 МГц для усереднення за трьома пеленгами чутливість становить близько 6 мкВ/м (графік 1), для усереднення за 30 пеленгами - близько 2,5 мкВ/м (графік 2), для усереднення за 100 пеленгами - менше 2 мкВ/м (графік 3). Чутливість радіопеленгаторів залежить також від смуги пропускання їхніх радіоприймальних трактів. Якщо в приймальному каналі присутні шуми з рівномірно розподіленим спектром, то чутливість пеленгатора буде обернено пропорційною квадратному кореню від ширини смуги пропускання [10]. Однак значне звуження смуги пропускання призводить до неможливості пеленгування коротких імпульсних сигналів, який мають широкосмуговий спектр.

**Завадостійкість** - здатність радіопеленгатора зберігати у відомих межах свою точність за наявності радіозавад. Унаслідок дії на АС радіопеленгатора під час проведення пеленгування ДРВ кількох радіосигналів, наприклад, основного і завад, показання пеленга для основного сигналу можуть змінюватися, тому завадостійкість радіопеленгатора характеризує напруженість поля радіозавади, яка викликає помилку, що не перевищує припустиме значення. Очевидно, що чим вища напруженість поля завади в даному випадку, тим краща завадостійкість пеленгатора. Напруженість поля завади, що характеризує завадостійкість, залежить від напруженості поля основного сигналу, рівня розстроювання за частотою завади відносно основного сигналу і від просторового кута між напрямками на джерела основного сигналу та радіозавади. Напруженість поля завади, як правило, задається відносно напруженості поля основного сигналу в децибелах.

Завадостійкість радіопеленгатора в основному визначається завадостійкістю його приймальних трактів і АС, просторовою селективністю, що безпосередньо залежить від конструкції антен, і методом оброблення результатів вимірювання. Завадостійкість приймального тракту пеленгатора, як у будь-яких РПП, характеризується динамічним діапазоном, інтермодуляційною вибірковістю

(точками перетину другого та третього порядків) і вибірковістю за побічними каналами приймання.

До важливих чинників, які визначають завадостійкість радіопеленгатора, також відносять:

- несприйнятливість пеленгатора до спотворень електромагнітного поля, викликаних багатопроменевим поширенням радіохвиль;

- стійкість до поляризаційних спотворень радіохвиль;

- стабільність роботи у випадку наявності некогерентних завад у контрольованому частотному радіоканалі.

Очевидно, що завадостійкість радіопеленгатора суттєво впливає на якість визначення місцезнаходження ДРВ.

**Швидкодія** радіопеленгатора визначається мінімальним часом, необхідним для настроювання на задану частоту та визначення пеленга.

Останнім часом отримали поширене застосування системи радіозв'язку з програмним перестроюванням робочої частоти зі швидкістю від декількох десятків до декількох сотень стрибкоподібних змін частоти за секунду. Тому для пеленгування РЕЗ цих систем швидкодія радіопеленгаторів має вирішальне значення.

Максимальна швидкість пеленгування досягається в моноімпульсних радіопеленгаторах, які визначають пеленг протягом тривалості одного сигнального імпульсу.

Загалом для збільшення швидкодії радіопеленгаторів потрібно застосовувати РПП з малим часом перестроювання частоти, зменшувати час вимірювання сигналів з елементів АС, зменшувати їхню кількість, скорочувати обсяг обчислювань за рахунок погіршення розрізняювальної здатності.

**Розрізняювальна здатність** - це характеристика радіопеленгатора, яка визначає його можливість роздільного пеленгування ДРВ із близькими параметрами. Розрізняють розрізняювальну здатність за частотою та кутом.

Розрізняювальна здатність радіопеленгатора за частотою може відрізнитися в різних робочих смугах частот і в основному визначається фазовими шумами синтезаторів частот радіоприймальних трактів та алгоритмом цифрового оброблення сигналів.

Розрізняювальна здатність радіопеленгатора за кутом важлива тим, що в одному радіочастотному каналі можуть працювати декілька ДРВ, наприклад, однієї радіомережі, чи декілька базових станцій стільникового радіозв'язку.

**Діапазон робочих частот** радіопеленгатора - це смуга частот, в якій радіопеленгування проводиться із заданою точністю та чутливістю. Чим більший робочий діапазон частот пеленгатора, тим він кращий для вирішення завдань технічного радіоконтролю.

**Вид сигналу, що пеленгується** - характеристика радіопеленгатора, що зазначає види радіосигналів, для джерел яких він здатний визначати пеленг. Вид сигналу, що пеленгується, безпосередньо пов'язаний зі смугою пропускання радіоприймального тракту радіопеленгатора і його швидкодією. Чим ширша смуга пропускання, тим більш широкопосмугові та короткочасні сигнали можна запеленгувати. Крім цього, здатність пеленгувати короткочасні періодичні сигнали суттєво залежить від алгоритму математичного оброблення вимірів пристроєм оброблення даних і визначення пеленга, що входить до складу радіопеленгатора.

**Час розгортання** радіопеленгатора визначає, наскільки швидко він може бути приведений у робочий режим. Цей параметр, а також **маса та габаритні розміри**



особливо важливі для рухомих і переносних пеленгаторів.

**Складність експлуатації** - характеристика, що визначає зручність процесу експлуатації радіопеленгатора.

## **5.4 Побудова та основні типи радіопеленгаторів**

### **5.4.1 Загальні принципи побудови радіопеленгаторів**

В найпростішому випадку радіопеленгатор складається з АС, РПП (або аналізатора спектра) і пристрою оброблення даних і визначення (індикації) пеленга. Залежно від вимог і завдань пеленгування до складу радіопеленгаторів можуть входити додаткові пристрої, наприклад, високочастотний антенний комутатор елементів АС, навігаційна система для визначення власного місцезнаходження та орієнтації радіопеленгатора, пристрої дистанційного управління радіоканалом або кабельними лініями зв'язку, пристрої для калібрування радіоприймальних трактів, пристрої тестування працездатності складників радіопеленгатора тощо. За робочим діапазоном частот пеленгаторне обладнання поділяється, як правило, на обладнання для діапазонів СЧ/ВЧ (наприклад, для смуг частот від 300 кГц до 30 МГц) і для діапазонів ДВЧ/УВЧ (наприклад, для смуг частот від 20 МГц до 3 ГГц).

Пеленгаторна АС є одним із найважливіших складників радіопеленгаторного обладнання, оскільки від неї суттєво залежить точність радіопеленгації. Зокрема, вона визначає точність вимірювання пеленгів за наявності багатопроменевого поширення радіохвиль. У зв'язку з цим важливу роль грає апертура антенної решітки. Не всі методи радіопеленгації дозволяють використовувати широкоапертурні антени, але у випадку їх застосування вони забезпечують отримання найточніших результатів пеленгування.

Кожна АС складається з певної кількості (мінімум трьох) антенних елементів, розміщених за певною конфігурацією в залежності від робочого діапазону частот і методу пеленгування. Для діапазону ВЧ загальноприйняті кільцеві, схрещені та "L"-подібні лінійні антенні решітки. В діапазоні ДВЧ/УВЧ, в основному, застосовують кільцеві антенні решітки. В якості антенних елементів можуть використовуватися рамкові антени, конічні та біконічні вібратори, дискоконусні антени, штирові вібратори, направлені антени типу логоперіодичної або хвильового каналу тощо. Нині вважається, що для високої точності пеленгування (не гірше  $1^\circ$ ) та широкого діапазону робочих частот (наприклад, від 1 МГц до 30 МГц або від 20 МГц до 1300 МГц) достатньо мати 9 антенних елементів, хоча їхня кількість може бути більшою.

На конструкцію пеленгаторних АС також суттєво впливають метод пеленгування та експлуатаційне призначення (для стаціонарних чи рухомих радіопеленгаторів). У діапазоні ВЧ для стаціонарних радіопеленгаторів застосовують антенні решітки з несиметричних вібраторів або зі схрещених рамочних елементів, а для рухомих - рамкові або феритові антенні елементи.

Робочий діапазон частот радіопеленгаторного обладнання визначається не тільки пеленгаторними АС, а й РПП, які призначені для селекції, підсилення вхідного сигналу та перетворення його частоти. Кількість РПП у радіопеленгаторі може варіювати від 1 до  $n$ , де  $n$  - кількість антенних елементів, які утворюють антенну решітку (АС) радіопеленгатора.

В діапазоні ДВЧ/УВЧ у більшості випадків користуються антенними решітками із симетричних вібраторів або віялоподібних антенних елементів (рис. 5.7). Метод пеленгування може визначати або можливість охоплення робочого діапазону частот лише однією антенною системою або не обхідність його розмежування на піддіапазони частот з відповідними окремими антенними решітками.

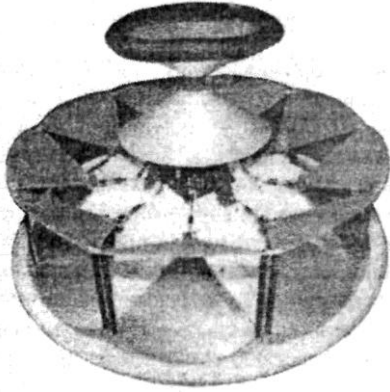


Рис. 5.7. АС моделі 641М (зі знятим ковпаком)  
[92]

Багатоканальні (моноімпульсні) пеленгаторні системи, в яких кількість РПП відповідає кількості антенних елементів, для отримання певної точності пеленгування потребують меншого часу інтеграції та (або) меншого відношення сигнал/шум, тому характеризуються більшою швидкістю порівняно з одно-канальними системами. Однак технічна та конструктивна реалізація таких систем досить складна, оскільки:

- усі РПП повинні настроюватися за допомогою одного спільного генератора;
- сигнали в приймальних трактах повинні бути перетворені з однаковими амплітудами та фазами, що потребує застосування окремого спільного синтезатора частоти;
- перед пеленгуванням приймальні тракти потрібно калібрувати за допомогою спеціального тестового генератора.

Нині в сучасних радіопеленгаторах застосовують РПП, які мають обмежену кількість каналів, як правило, від одного до трьох. Якщо антенних елементів більше, ніж каналів РПП або використовується один одноканальний РПП, то антенні елементи послідовно підключаються до РПП за допомогою високочастотного антенного комутатора.

З виходу РПП сигнали на проміжній частоті поступають на вхід пристрою оброблення даних і визначення (індикації) пеленга, в якому проводиться їх аналого-цифрове перетворення й визначення за отриманими вимірами азимута на ДРВ за певним методом. Крім цього, пристрій може також здійснювати спектральний аналіз сигналу, його цифрову демодуляцію чи декодування та подання (індикацію) результатів роботи радіопеленгатора в зручній для оператора формі. В сучасних радіопеленгаторах в якості цього пристрою найчастіше служить ПЕОМ, яка також виконує функції управління роботою обладнання, збереження результатів пеленгування та спектрального аналізу, ведення бази даних, формування звітів і протоколів за результатами роботи тощо.

Подання даних у цифровій формі суттєво спрощує їхнє оброблення ПЕОМ і передавання засобами зв'язку, забезпечує синхронізацію приймальних каналів і спрощує їхнє калібрування, дозволяє проводити необхідне корегування значень амплітуди й фази для АФС тощо. Це, в цілому, дозволяє уникнути багатьох недоліків, властивих для аналогових пеленгаторів. Крім цього, в цифровій частині радіопеленгатора відсутній температурний дрейф, який може впливати на похибки вимірювання.

До однієї з важливих властивостей сучасного пеленгаторного обладнання відноситься його здатність працювати в режимі „радіопеленгаторного сканування“, що дозволяє послідовно переглядати контрольовані смуги частот і, визначаючи

зайнятість РЧС, одночасно обчислювати пеленги будь-яких сигналів, рівень яких вищий за певну, задану оператором, межу. Ця функція проводиться за допомогою цифрового оброблення сигналів із застосуванням методів ШПФ з метою розділення смуги пропускання РПП на окремі канали, кількість яких визначається роздільною здатністю ШПФ. Для кожного окремого каналу за допомогою ШПФ виявляються та пеленгуються ДРВ, при цьому вимірюються рівні їхніх сигналів і визначаються дані про зайнятість каналу. Цей режим дозволяє за допомогою отриманих графіків залежності азимутів від частоти пеленгувати передавачі зі сучасними видами цифрової модуляції, оскільки, наприклад, один азимут на багатьох різних частотах може свідчити про наявність сигналу із стрибкоподібною зміною частоти.

У процесі проведення технічного радіоконтролю та визначення місцезнаходження ДРВ найчастіше застосовуються радіопеленгатори, основні з яких наведені на рис. 5.8 [1, 9].

#### 5.4.2 Амплітудні радіопеленгатори

Принцип роботи амплітудних радіопеленгаторів базується на аналізі амплітудного розподілу електромагнітного поля, створеного контрольованим сигналом на розкритті приймальної антени пеленгатора. Розрізняють три різновиди амплітудного способу пеленгування: за максимальним значенням сигналу, мінімальним значенням сигналу і на основі порівняння сигналів (рівносигнальний спосіб).

В разі пеленгування за максимальним значенням сигналу пеленг на ДРВ визначається за максимумом ДН обертової АС (рис. 5.9, а), оскільки результуюча напруга  $U$  на виході антени безпосередньо залежить від напруженості електромагнітного поля  $E$  в пункті приймання та ДН антени  $F(\alpha, \beta)$ , де  $\alpha$  - азимут,  $\beta$  - кут місця, тобто

$$U = hEF(\alpha, \beta), \quad (5.4)$$

де  $h$  - діюча висота АС пеленгатора.

Відлік кутової координати ДРВ проводиться в момент, коли рівень напруги на виході РПП, до якого підключена АС пеленгатора, стає максимальним. При цьому фазовий фронт радіохвилі, що надходить на антену радіопеленгатора, перпендикулярний її площині розкриття, а напрямок максимуму ДН антени співпадає з напрямком на ДРВ.

У процесі пеленгування антену пеленгатора або повертають до моменту отримання максимального значення вихідної напруги РПП або обертають її безперервно. В першому випадку просторове положення ДН антени пеленгатора змінюється і напрямок її максимуму співпадає з напрямком на ДРВ. Пеленг зчитується за кутовим положенням ДН.

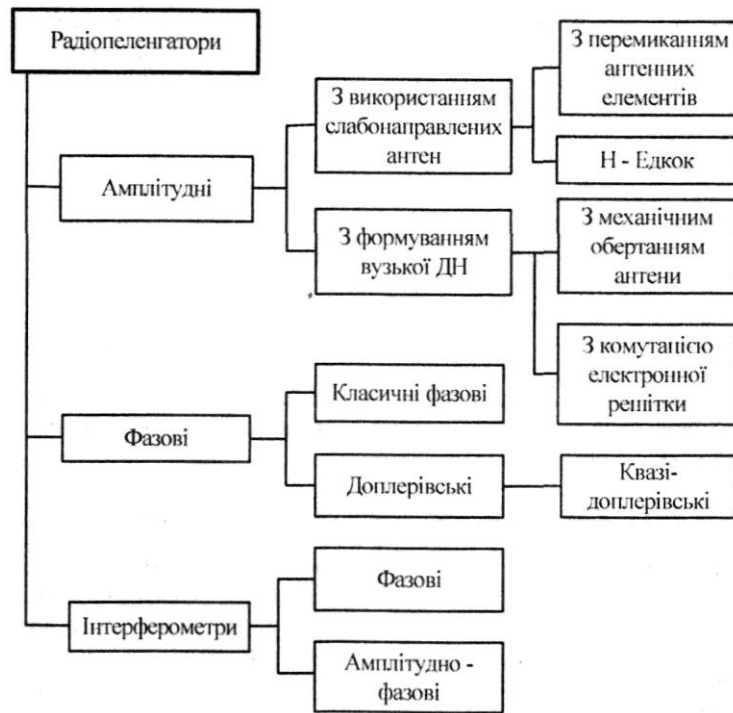


Рис. 5.8. Загальна класифікація радіопеленгаторів

В разі безперервного обертання АС пеленгатора вихідна напруга антени  $U$  модулюється з кутовою частотою її обертання  $\Omega$  за законом

$$U = U \max F(\Omega t - \alpha), \quad (5.5)$$

при цьому фаза  $\alpha$  відповідає пеленгу і визначення пеленга може проводитися автоматично.

За цим способом забезпечується значна дальність пеленгування, оскільки пеленгаторний РПП працює з великим рівнем сигналу. Основні переваги способу:

1) незначний вплив шумів на точність пеленгування, оскільки в напрямку максимального значення ДН антени приймається максимально можлива енергія сигналу, що пеленгується;

2) можливість розрізнення в одному частотному каналі декількох ДРВ із різними азимутами;

3) нескладна конструктивна реалізація пеленгатора, оскільки потребується одноканальний РПП;

4) низька вартість радіопеленгатора.

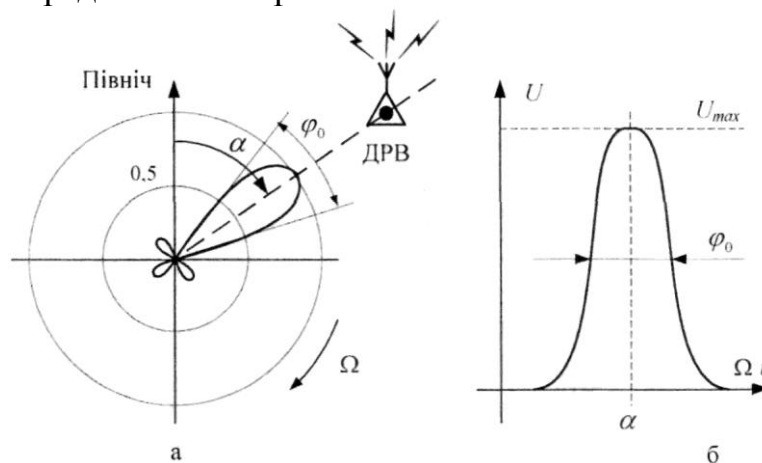


Рис. 5.9. Принцип пеленгування за максимальним значенням сигналу

Недолік способу - низька точність пеленгування через малу кривизну ДН поблизу її максимуму. Точність визначення пеленга становить близько однієї п'ятої від ширини ДН на рівні половинної потужності [10]:

$$\Delta\alpha \approx 0,2\varphi_0 \quad (5.6)$$

Цей спосіб застосовують для роботи в дециметровому та сантиметровому діапазонах, в яких можна побудувати гостронаправлені антени.

Спосіб пеленгування за мінімальним значенням сигналу застосовується у випадках, коли можна сформувати ДН АС пеленгатора з явно вираженим мінімальним значенням прийнятого сигналу, причому він повинен бути єдиним (рис. 5.10, а). Таку ДН може мати окрема АС, крім цього її можна також сформувати шляхом застосування пари ідентичних антен, кожна з яких має вузьку ДН (рис. 5.10, в). Пеленгування ДРВ проводиться шляхом обертання АС до положення, за якого рівень сигналу на виході РПП сягає мінімального значення (рис. 5.10, б, г).

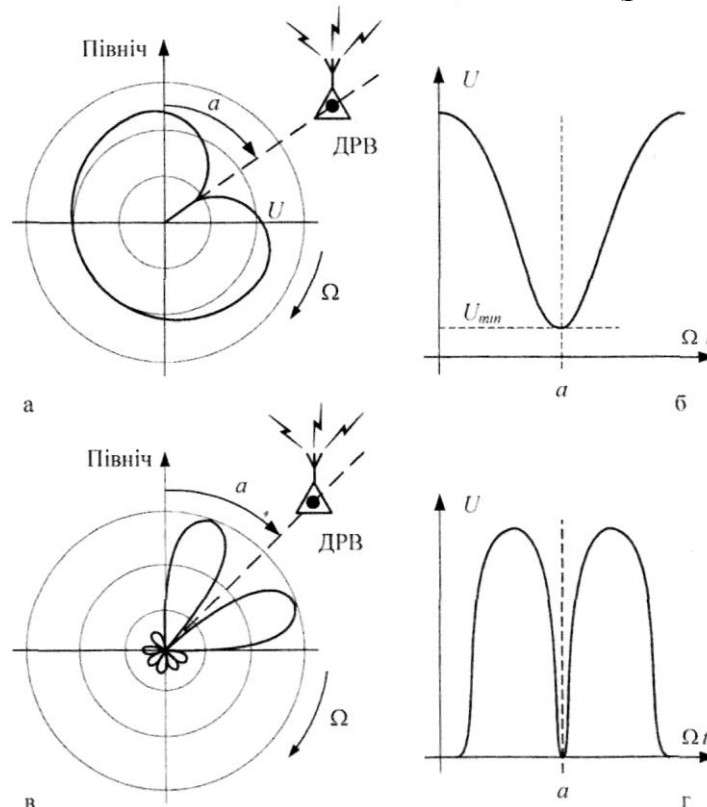


Рис. 5.10. Принцип пеленгування за мінімальним значенням сигналу

В разі пеленгування за цим способом досягається більша точність вимірювання пеленга, оскільки ДН антени поблизу свого мінімального значення має більшу крутизну залежності  $\partial F(\alpha)/\partial \alpha$ , тобто мінімум - досить гострий [10]:

$$\Delta \alpha \approx 0,1 \varphi_0 \quad (5.7)$$

Недолік способу пеленгування за мінімальним значенням сигналу - невисока точність пеленгування в разі низького відношення сигнал/шум, оскільки внаслідок додаткового зменшення рівня сигналу ДРВ мінімумом ДН АС пеленгатора він може бути таким же, як і за відсутності сигналу ДРВ, що може спричинити до помилкового визначення напрямку. Крім цього дальність дії пеленгаторів, які працюють за цим способом, менша, ніж у пеленгаторів, які працюють за максимальним значенням сигналу.

Рівносигнальний спосіб - компромісний між відміченими раніше, оскільки усуває їхні недоліки. Він реалізується за рахунок застосування двох направлених ідентичних антен, ДН яких дещо розвернуті в азимутальній площині (рис. 5.11, а), при цьому пеленг на ДРВ визначається шляхом порівняння сигналів на виході РПП радіопеленгатора.

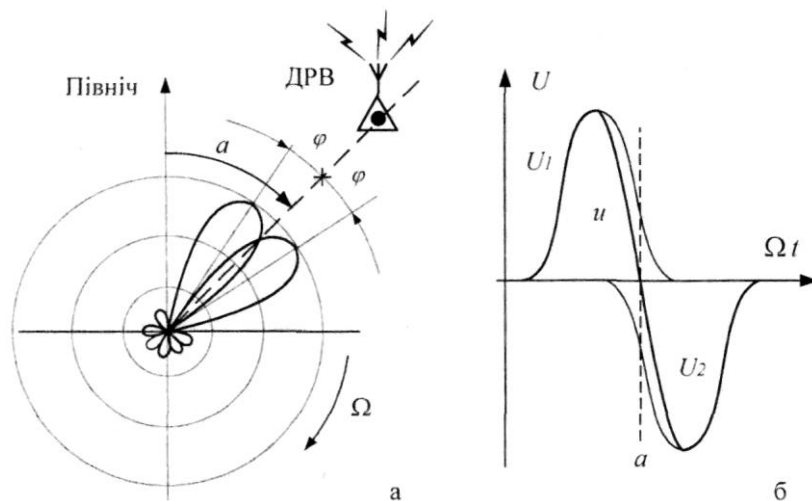


Рис. 5.11. Принцип пеленгування за рівносигнальним способом

Істинним напрямком на ДРВ вважається такий, що знаходиться між двома максимальними значеннями ДН антен. Оскільки ці антени ідентичні, то їхні ДН  $F(a)$  однакові і розвернуті на певний кут  $\varphi$ , тому вихідні сигнали антен можна описати функціями  $F(\alpha + \varphi)$  і  $F(\alpha - \varphi)$ . Напрямок, що відповідає куту  $a$  перетину ДН, називається рівносигнальним. Вихідні сигнали антен, пройшовши через фільтри, підсилювачі й детектори радіопеленгатора, порівнюються з протилежними знаками (рис. 5.11, б), у результаті чого залежність амплітуди результуючої напруги від кутового напрямку надходження радіохвилі (пеленгаційна характеристика радіопеленгатора) описується виразом

$$U = U_1(\alpha) - U_2(\alpha) = k[F(\alpha + \varphi) - F(\alpha - \varphi)] \quad (5.8)$$

Ця функція за умови симетричності ДН антен буде непарною.

Під час пеленгування за цим способом, на відміну від пеленгування за мінімальним значенням сигналу, завжди можна впевнитися в наявності сигналу пеленгованого ДРВ, аналізуючи вихідний сигнал будь-якої з антен. Внаслідок непарності пеленгаційної характеристики та лінійності її центральної частини в разі навіть незначного відхилення рівносигнального напрямку від напрямку на ДРВ полярність напруги буде відповідати знаку відхилення, а її рівень - значенню відхилення.

Перевага способу - більші інструментальна точність і чутливість, ніж у пеленгаторів, які працюють за мінімальним значенням сигналу. Рівносигнальний спосіб забезпечує точність пеленгування [10]

$$\Delta\alpha \approx 0,05\varphi \quad (5.9)$$

До загальних недоліків радіопеленгаторів із обертовими антенами відносяться: вузький робочий частотний діапазон (коефіцієнт перекриття, як правило, не більший 10), тривалий час реакції (визначається часом обертання антени), складний механічний привід АС, низька швидкість огляду, крім цього ці пеленгатори неефективні у разі пеленгування короткочасних сигналів, тривалість яких менша періоду обертання антени.

Незважаючи на відмічені недоліки амплітудні способи досі застосовуються, оскільки використання інших часто вимагає суттєвих фінансових затрат і призводить до значних габаритних розмірів і маси пеленгаторів. Особливо ефективні амплітудні способи пеленгування в діапазоні НВЧ, тому застосовуються в переносних портативних радіопеленгаторах. Причому найчастіше застосовується спосіб пеленгування за максимальним значенням сигналу, незважаючи на те, що він має найменшу точність пеленгування, оскільки за цим способом можна одночасно з

пеленгуванням ДРВ прослухо-увати його сигнал.

Нині досить поширені **амплітудні радіопеленгатори з використанням слабонаправлених антен**. АС таких пеленгаторів складається з розміщених по колу певної кількості антенних елементів (наприклад, восьми), кожен з яких має ДН, зображену на рис. 5.12. У процесі роботи антенний комутатор (АК) послідовно підключає виходи антенних елементів до входу РПП із частотою комутації  $F_k$ . Амплітуда вихідного сигналу РПП фіксується пристроєм оброблення даних і визначення пеленга.

Для отримання відліку пеленга застосовуються такі методи оброблення результатів:

- виділення з отриманих відліків першої гармоніки  $f_1$  і порівняння її фази з фазою частоти комутації  $F_k$ ;
- обчислення координати "центра ваги" ДН за отриманими відліками;
- порівняння дискретних відліків ДН з еталонними для даної частоти й визначення максимуму за методом найменших квадратів.

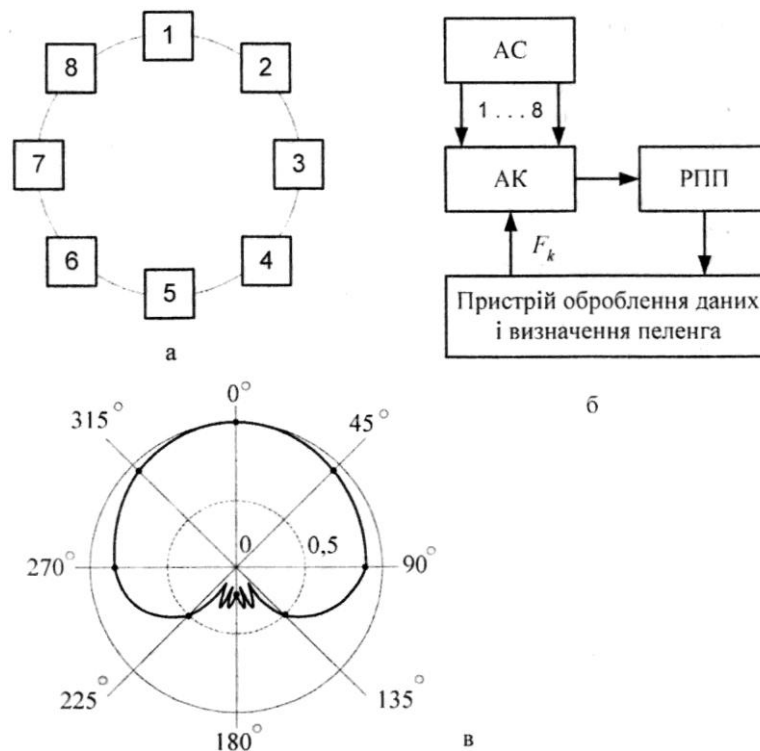


Рис. 5.12. Амплітудний радіопеленгатор із перемиканням елементів АС: а - приклад розміщення елементів АС; б - структурна схема радіопеленгатора; в - типова ДН окремого антенного елемента

З наведених методів найефективніший, за відповідної реалізації, метод еталонів, найпростіший - перший варіант, достатньо ефективний та простий - за "центром ваги".

В якості антенних елементів можуть використовуватися пари рамок, пари фазованих вібраторів, положення щілин у стінках хвилеводу щілинної антени тощо. Зрозуміло, що чим більша кількість антенних елементів, тим меншою може бути ширина ДН, щоправда, цей параметр визначається також габаритними розмірами АС, значенням нижньої частоти сигналу та типом антенних елементів.

Основні переваги таких радіопеленгаторів - це простота реалізації та достатня швидкодія.

Основні недоліки:

- жорсткі вимоги до ідентичності антенних елементів, що суттєво впливає на точність пеленгування;

- слабка спрямованість ДН і, як наслідок, поганий захист від когерентної радіозавади та завади в сумісному каналі.

Радіопеленгатори такого типу досить часто встановлюють на автотранспортних засобах для роботи у верхній частині діапазону УКХ.

**Амплітудні радіопеленгатори типу Еджок (Н-Еджок)** базуються на двох рознесених на відстань не більшу половини довжини хвилі пеленгаторних парах Н-Еджок - вертикальних і протифазно включених вібраторах. Вертикально поляризований сигнал, який приходить з напрямку  $\alpha$ , наводить у кожній такій парі електрорушійну силу  $E$ , пропорційну  $\sin \alpha$ . В разі використання двох пеленгаторних пар, розміщених під кутом не більше  $90^\circ$ , напрямок на ДРВ визначається співвідношенням

$$\alpha = \arctg \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \text{ причому } \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \approx \frac{E_1}{E_2},$$

де  $E_1, E_2$ - амплітуди електрорушійної сили відповідних пеленгаторних пар.

Принцип побудови двоканального амплітудного радіопеленгатора типу Н-Еджок наведений на рис. 5.13.

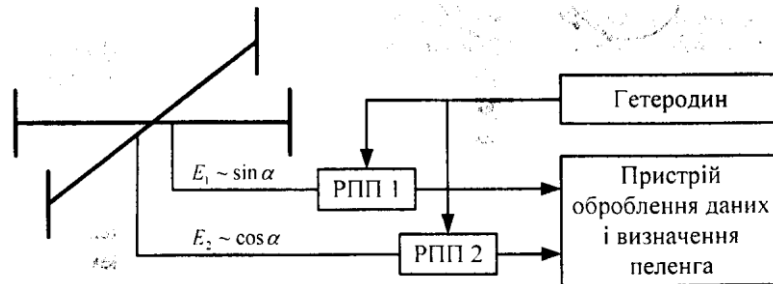


Рис. 5.13. Принцип побудови двоканального амплітудного радіопеленгатора типу Н-Еджок

В радіопеленгаторі використовується двоканальний РПП із спільним гетеродином, причому радіоприймальні тракти приймача повинні мати ідентичні комплексні коефіцієнти передавання та фазові зсуви. В разі зміни кута приходу сигналу на  $180^\circ$  фази сигналів  $E_1$  і  $E_2$  змінюються на  $90^\circ$ , що використовується для визначення напрямку на ДРВ, наприклад, шляхом застосування ненаправленої антени та її почергового підключення до одного з радіоприймальних каналів з подальшим обробленням результатів вимірювання, визначенням пеленга та його індикації.

Основні переваги радіопеленгаторів типу Н-Еджок:

- простота реалізації АС;
- достатня швидкодія;
- можливість підвищення точності пеленгування шляхом збільшення кількості пеленгаторних пар.

Основні недоліки:

- необхідність ретельного вирівнювання комплексних коефіцієнтів передавання та фазових зсувів радіоприймальних трактів;
- відсутність селективності за азимутом і відповідно захищеності від дії когерентних завад і завад у сумісному каналі;
- наявність похибок унаслідок не ідентичності пеленгаторних пар.

**Амплітудні радіопеленгатори з формуванням вузької ДН і механічним обертанням антени** застосовуються в основному на частотах понад 200 МГц. В якості антени в них найчастіше використовують антенні решітки або антени з досить



вузьким робочим діапазоном частот. Загальний принцип побудови амплітудного радіопеленгатора з механічним обертанням антени наведений на рис. 5.14.

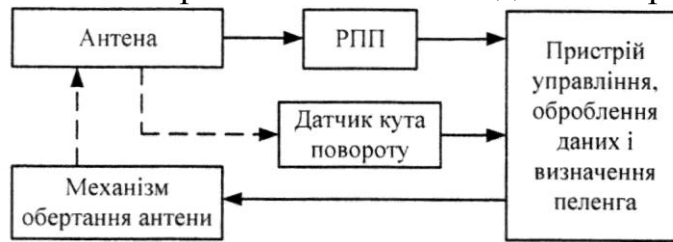


Рис. 5.14. Принцип побудови амплітудного радіопеленгатора з механічним обертанням антени

Переваги:

- простота конструкції;
- стійкість до когерентної радіозавади та завади в сумісному каналі. Недоліки:
- значні габаритні розміри в нижній частині діапазону УКХ;
- обмеження в швидкодії та можливості приймання сигналів на частотах понад (400 - 600) МГц унаслідок механічного обертання антени.

Цей метод пеленгування нині часто застосовується в переносних радіопеленгаторах, які конструктивно реалізуються, здебільшого, на базі малогабаритного РПП із направленою антеною та індикатора рівня сигналу, розміщених на спеціальній рукоятці (тримачеві). Оператор пеленгатора, тримаючи рукоятку в руці, повертає антену і визначає напрямок приходу радіохвилі за максимальним чи мінімальним рівнем сигналу індикатора. Крім цього, під час пеленгування (за можливості) може проводитися слуховий контроль наявності сигналу передавача. Незважаючи на низьку точність пеленгування, такий радіопеленгатор досить поширений, оскільки допомагає уточнити місцезнаходження контрольованого ДРВ за складних умов роботи (вузькі вулиці міста, висока щільність забудови тощо), у важко доступних місцях, наприклад, на дахах будівель, і на пересіченій місцевості.

Типовим прикладом таких пеленгаторів може бути портативний радіопеленгатор НП-4/1,3 виробництва ТОВ "Адалін" м. Севастополь, до складу якого входять РПП ІС-Р10, три змінні антенні модулі з ДН у виді кардіоїди з діапазонами робочих частот від 1 МГц до 150 МГц, від 150 МГц до 500 МГц і від 500 МГц до 1300 МГц, кожен із яких може бути установлений у тримач, і головні телефони. Рівень вхідного сигналу регулюється за допомогою ступінчастого атенюатора, розміщеного на тримачеві, у межах від 0 дБ до 40 дБ із кроком 4 дБ.

**Амплітудні радіопеленгатори з формуванням вузької ДН і комутацією електронної решітки** системи Вулленвебера (Wullenweber) - це системи з вимірюванням амплітуди в одиночному каналі та електронним скануванням ДН АС. Зазвичай ці системи використовують дуже велику кількість антенних елементів (вібраторів), зібраних у кільцеву решітку. Одночасне комбінування певних груп антенних елементів і застосування ліній затримки для вирівнювання фаз сигналу дозволяє установити ДН АС у потрібному напрямку. При цьому в процесі пеленгування вимірюються сигнали не з одного, а одночасно з кількох суміжних антенних елементів.

Застосовуються також радіопеленгаторні системи з широкою апертурою, що використовують великі антенні решітки, зібрані в концентричні колові секції, які в свою чергу з'єднуються таким чином, щоб сформувати керовану ДН АС (вузький промінь під час синфазного підсумовування каналів і відсутність приймання під час протифазного підсумовування каналів). Часто в центрі секцій для підвищення

ефективності пеленгування встановлюють циліндричний рефлектор. Радіопеленгатори системи Вулленвебера мають високу вартість і традиційно використовуються в діапазоні ВЧ на стаціонарних РКП.

У процесі сканування АС пеленг визначається кутом, що відповідає мінімальному або максимальному значенню рівня сигналу (в залежності від типу антени).

Переваги:

- вузька ДН і відповідно висока стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі:

- висока швидкодія;

- висока чутливість за рахунок формування вузької ДН.

Недоліки:

- складність конструкції;

- обмежена швидкодія в разі роботи зі сигналами тривалістю не більше одиниць мікросекунд.

### 5.4.3 Фазові радіопеленгатори

Фазовий спосіб пеленгування базується на використанні залежності різниці фаз сигналів, які приймаються двома однаковими антенами ( $A_1$  і  $A_2$  на рис. 5.15), що рознесені в просторі на деяку відстань (базу)  $d$ . У загальному випадку фронт електромагнітної хвилі, що приходить під деяким кутом до базової лінії між двома антенами, досягає однієї з антен раніше. Часова затримка приходу хвилі між антенами дозволяє отримати різницю фаз між вихідними напругами цих антен  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$ , яка на несучій частоті  $\omega_0$  для пеленга  $\alpha$  визначається виразом [93]

$$\Delta\varphi = \omega_0 \Delta\tau = \frac{\omega_0 d}{c} \sin \alpha, \quad (5.11)$$

де  $\Delta\tau$  - час затримки надходження сигналів на рознесені антени;

$c$  - швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с).

Звідки можна визначити значення пеленга на ДРВ:

$$\alpha = \arcsin \frac{c \Delta\varphi}{\omega_0 d}. \quad (5.12)$$

З виразу (5.12) випливає, що для визначення пеленга на ДРВ потрібно виміряти частоту  $\omega_0$  прийнятих сигналів і різницю фаз  $\Delta\varphi$  цих сигналів у рознесених точках приймання. Але частоту можна й не виміряти у випадку, якщо пеленгатор має здатність обертати базову лінію АС, оскільки у випадку, якщо базова лінія знаходиться на нормалі до напрямку надходження хвилі від ДРВ (дотична до фронту падаючої хвилі), то  $\sin \alpha = \Delta\varphi = 0$  незалежно від частоти сигналу.

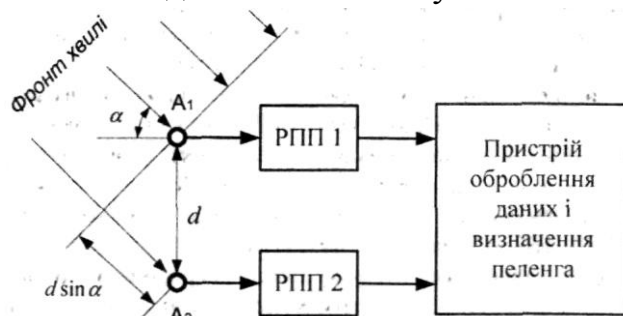


Рис. 5.15. Принцип фазового способу пеленгування

Якщо використовувати лише дві антени, то це може привести до неоднозначного визначення напрямку на ДРВ, оскільки така ж сама фазова

затримка на виходах антен може бути отримана від сигналу, що надходить з протилежного напрямку. Для виключення цієї неоднозначності використовується друга пара антен, базова лінія якої розміщена перпендикулярно до базової лінії першої пари антен. Порівнюючи відносні фази на виходах цих пар антен можна визначити істинний напрямок приходу хвилі. Крім цього для виключення неоднозначності відліку пеленга використовують АС з декількома відмінними за розмірами базами.

Класичні фазові радіопеленгатори використовують механічний коловий рух вертикального вібратора і порівняння фази сигналу на ньому з фазою сигналу, що приходить на нерухомий вібратор, розміщений у центрі кола. Максимальне значення різниці фаз відповідає напрямку приходу сигналу.

В сучасних радіопеленгаторах замість механічного колового руху вертикального вібратора застосовують дискретне перемикання розташованих кільцем антенних елементів. Крім зазначеної АС до складу радіопеленгатора такого типу входять двоканальний РПП із спільним гетеродином, обмежувач амплітуди сигналу (для виключення впливу амплітудної модуляції), суматор сигналів з обох РПП, фазовий детектор і пристрій оброблення даних та індикації пеленга.

Переваги:

- простота АС;
- досить простий алгоритм оброблення сигналів у процесі отримання відліку пеленга;
- відсутність впливу наявної амплітудної модуляції.

Основний недолік - низька стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі внаслідок застосування ненаправлених антен.

**Доплерівські радіопеленгатори** базуються на використанні викликаного ефектом Доплера фазової модуляції, яка виникає під час колового руху приймальної антени. Суть ефекту Доплера полягає в тому, що відносне (взаємне) переміщення приймача і передавача призводить до зміни фази (а отже, і частоти) коливань, що приймаються, в результаті чого їхня частота стає відмінною від частоти випромінених коливань [94].

Якщо ненаправлена в горизонтальній площині приймальна антена (наприклад, вертикальний вібратор) обертається колом з кутовою частотою  $\Omega$  у полі, створеному віддаленим передавачем електромагнітних коливань з частотою  $\omega$ , то зумовлений рухом антени приріст фази електрорушійної сили, що в ній наводиться, від'ємний у проміжки часу, коли антена віддаляється від ДРВ, або додатній, коли антена наближається до ДРВ, і дорівнює нулю в моменти, коли напрямок руху антени перпендикулярний напрямку поширення хвилі (рис. 5.16). Причому, в першому випадку проекція вектора швидкості руху антени на лінію АО збігається з напрямком поширення радіохвилі.

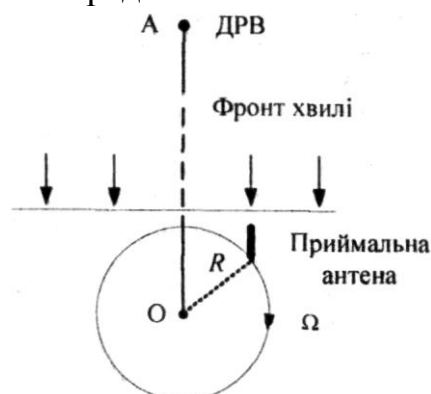


Рис. 5.16. Процес зміни фази коливань у радіопеленгаторі з використанням ефекту Доплера

Якщо фазу електрорушійної сили, що наводиться в антені, розміщеній у центрі кола (точка  $O$ ), прийняти за початкову і рівну

$$\varphi_0 = \omega t, \quad (5.13)$$

то для антени, що рухається колом із радіусом  $R$ , миттєве значення фази наведеної електрорушійної сили буде відрізнятися від  $\varphi_0$ , на значення

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} R \cos(\Omega t - \alpha), \quad (5.14)$$

де  $\alpha$  - азимут на ДРВ;

$\Omega t$  - довжина хвилі електромагнітних коливань;

$\Omega t$  - поточне значення пеленга обертової антени радіопеленгатора.

При цьому миттєве значення електрорушійної сили в антені дорівнює

$$e = E \sin \left[ \omega t + \frac{2\pi}{\lambda} R \cos(\Omega t - \alpha) \right], \quad (5.15)$$

тобто електрорушійна сила в антені радіопеленгатора модульована за фазою частотою  $\Omega$ , причому фаза модульованого коливання відповідає азимуту на ДРВ, який пеленгується.

Максимальне значення відхилення фази (відносно  $\varphi_0$ ), яке відбувається під час обертання антени, характеризується індексом фазової модуляції

$$M = \frac{2\pi}{\lambda} R. \quad (5.16)$$

Якщо прийняті коливання підсилити і подати на фазовий детектор, то для малих значень відношення  $R/\lambda$  на виході детектора можна отримати коливання модулюючої частоти  $\Omega$ , фаза яких відповідає азимуту  $\alpha$  на ДРВ, який пеленгується, тобто

$$u_c = U_c \cos(\Omega t - \alpha). \quad (5.17)$$

Таким чином, у процесі руху антени радіопеленгатора відносно ДРВ, сигнали якого пеленгуються, виникає доплерівський зсув частоти, при цьому антена, що рухається колом, приймає сигнали ДРВ із доплерівським зсувом частоти пропорційним куту приходу сигналу та швидкості її обертання. Пеленг сигналу визначається дотичною до кола, яке під час руху описує антена, в точці максимального доплерівського зсуву. В разі використання прямого доплерівського методу на частотах до діапазону УВЧ швидкість обертання антени зазвичай не має значення, тому був розроблений метод електронного перемикавання великої кількості антенних елементів нерухомої кругової антенної решітки для імітації колового обертання антени, відомий під назвою квазидоплерівського.

**Квазидоплерівські радіопеленгатори** використовують нерухомі, розміщені колом, антенні елементи (зазвичай вібратори) з їхньою почерговою попарною комутацією і протифазним підсумовуванням сигналів. Практично - це фазові радіопеленгатори, в яких антенні пари (наприклад, Н-Еджок) перемикаються з певною частотою таким чином, що імітується їхнє обертання з частотою  $\omega$ . Далі результуючі сигнали антенних пар приймаються РПП, обмежуються, обробляються частотним детектором (ЧД), а потім фаза отриманого коливання порівнюється з фазою частоти обертання і визначається пеленг на ДРВ.

Структурна схема такого радіопеленгатора наведена на рис. 5.17.

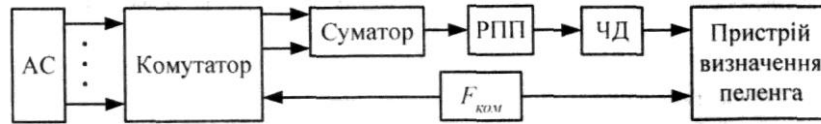


Рис. 5.17. Структурна схема квазідоплерівського радіопеленгатора

Переваги:

- простота реалізації АС і конструкції самого радіопеленгатора;
- стійкість до впливу наявної амплітудної модуляції.

Недолік спільний для всіх фазових радіопеленгаторів, а саме - низька стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі.

Квазідоплерівські радіопеленгатори досить поширені і придатні для стаціонарних і рухомих застосувань. З метою забезпечення якомога ширшого охоплення спектра сигналу в них часто використовують активні антени та антенні елементи невеликих розмірів, що дозволяє зменшити габаритні розміри радіопеленгаторів і застосовувати їх в якості переносних.

Сучасні доплерівські пеленгатори працюють у діапазоні частот від 20 МГц до 2 ГГц і забезпечують при цьому точність пеленгування не гірше  $2^\circ$ , яка визначається як рівнем потужності сигналу ДРВ, так і базою пеленгатора  $R$  (точніше, значенням  $2R/\lambda$ ) [93].

#### 5.4.4 Інтерферометричні радіопеленгатори

Принцип дії **фазового інтерферометричного радіопеленгатора** ґрунтується на використанні двох радіоприймальних каналів із спільним гетеродином, до яких підключені дві незалежні АС - ненаправлена опорна та АС, яка часто може бути виконана у вигляді антенної решітки з коловим розміщенням антенних елементів, які послідовно підключаються до одного з радіоприймальних каналів, і порівнянні фази сигналу цієї АС із фазою сигналу опорної АС (рис. 5.18). У пристрої оброблення даних і визначення пеленга проводиться аналого-цифрове перетворення результатів вимірювання двох прийнятих сигналів, оцінювання їхньої фазової затримки та визначення за рівнем цієї затримки кута приходу сигналу.

Пеленгування ДРВ **амплітудно-фазовим інтерферометричним радіопеленгатором** проводиться шляхом вимірювання методом кореляційної інтерферометрії! комплексних напруг сигналів (амплітуди і фази) для кожної антени одночасно, подальшого оброблення вимірів та оцінювання лінії пеленга. Як і фазовий метод, метод кореляційної інтерферометрії базується на вимірюванні різниці часу приходу електромагнітної хвилі до двох рознесених антен. Але на відміну від фазового методу тут різниця часу приходу радіохвилі визначається не шляхом вимірювання співвідношення фаз сигналів, прийнятих обома антенами, а шляхом вимірювання значень функції взаємної кореляції сигналів цих антен.

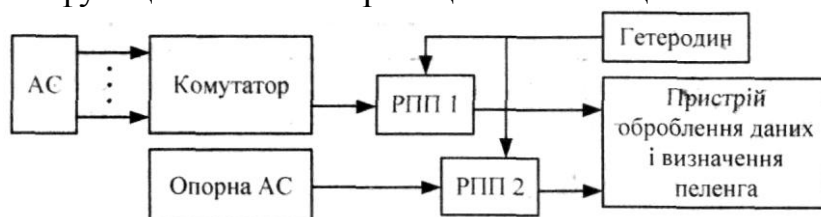


Рис. 5.18. Структурна схема фазового інтерферометричного радіопеленгатора

Функція взаємної кореляції, що характеризує ступінь статистичного взаємозв'язку (ступінь імовірності) між прийнятими сигналами, визначається за

допомогою корелятора, основними складниками якого є помножувач миттєвих значень напруги двох сигналів та, підключений до його виходу, інтегратор, який усереднює отримане значення напруги.

Якщо між вхідними сигналами корелятора існує повний статистичний зв'язок, то в процесі зміни миттєвих значень напруги обох сигналів їхня полярність буде співпадати, в результаті чого вихідна напруга інтегратора буде максимальною. Якщо функція взаємної кореляції дорівнює нулю (тобто статистичний зв'язок між сигналами відсутній), то з однаковою ймовірністю миттєві значення напруги обох сигналів будуть мати або однакові, або протилежні знаки. Унаслідок цього миттєві значення напруги на виході пристрою множення будуть з однаковою ймовірністю додатними або від'ємними, тому усереднена інтегратором за певний проміжок часу вихідна напруга буде близькою до нуля.

Найпростіший кореляційний радіопеленгатор складається з рознесених на певну відстань (базу)  $d$  антен  $A_1$  і  $A_2$ , двоканального РПП зі спільним гетеродином, лінії затримки, час затримки якої можна регулювати, корелятора та пристрою оброблення даних і визначення пеленга (рис. 5.19). Сигнали з виходів обох РПП поступають на входи корелятора, причому, один - безпосередньо, а другий - через лінію затримки. Пеленгування проводиться за максимумом напруги на виході корелятора, який виникає тоді, коли взаємна кореляція між вихідними напругами РПП 1 і РПП 2 максимальна, наприклад, у випадку коли лінія  $A_1$  -  $A_2$  антенної бази  $d$  перпендикулярна напрямку на ДРВ, що пеленгується, і його сигнали досягають обох антен одночасно.

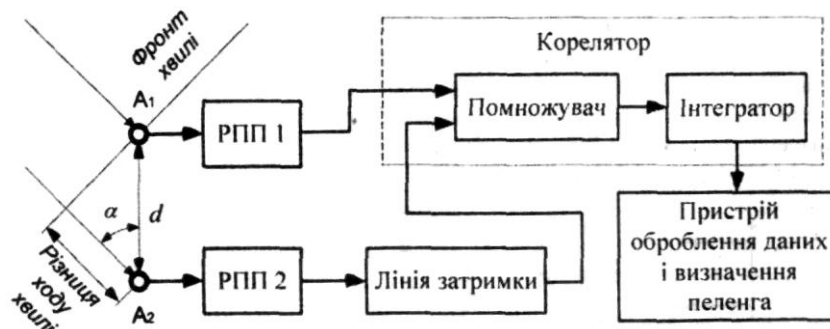


Рис. 5.19. Структурна схема кореляційного радіопеленгатора

Якщо лінія антенної бази не перпендикулярна до напрямку на ДРВ, то вихідний сигнал корелятора буде максимальним тоді, коли різниця  $\Delta t$  часу поширення сигналів від ДРВ до обох антен компенсується часом лінії затримки. Таким чином, за числовим значенням часу  $\Delta t$ , яке можна визначити за максимальним рівнем напруги на виході корелятора шляхом регулювання вручну або автоматично часу лінії затримки, можна обчислити кут  $\alpha$  між напрямком на ДРВ і напрямком антенної бази  $d$  із виразу

$$\cos \alpha = \frac{c \Delta t}{d}, \quad (5.18)$$

де  $c$  - швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі.

Статистичний зв'язок між власними шумами обох РПП відсутній, тому рівень напруги шумів на виході корелятора наближається до нуля, що, в свою чергу, визначає високу чутливість кореляційного радіопеленгатора. Суттєвого підвищення чутливості й точності пеленгування можна досягнути шляхом збільшення антенного рознесення  $d$ , що практично можна реалізувати лише зі стаціонарними антенами [94].

Кореляційні інтерферометри нині найперспективніші серед радіопеленгаторних

систем, що зумовлено їхніми такими суттєвими перевагами [9, 90]:

- якісне пеленгування практично будь-яких видів радіосигналів, у тому числі, широкосмугових зі складними видами модуляції;

- можливість оброблення та розрізнення одночасно двох або декількох сигналів в одному частотному каналі, причому як когерентних (у процесі приймання багатопроменевого випромінювання одного й того ж ДРВ), так і некогерентних (у процесі приймання радіосигналів від декількох ДРВ, спектри яких перекриваються);

- наявність ефективних методів зменшення інструментальних похибок, зумовлених взаємним впливом антенних елементів і місцевих умов, які можуть враховуватися для будь-яких типів антенних решіток;

- відсутність обмежень на конфігурацію антенних решіток АС радіопеленгатора, що дозволяє застосовувати складні решітки з широкою зоною однозначного пеленгування і високою розрізнявальною здатністю як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах;

- більша, ніж у фазових радіопеленгаторів, стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі.

Крім перерахованих переваг, кореляційні інтерферометри допускають поширене застосування методів цифрового оброблення сигналів на всіх стадіях визначення пеленга.

Основні недоліки інтерферометрів:

- складність реалізації, що викликана двоканальним прийманням сигналів, внаслідок чого виникає необхідність конструювання спеціальних широкосмугових двоканальних РПП або дороблення існуючих;

- необхідність забезпечення в радіоприймальних каналах РПП якомога більшої ідентичності комплексних коефіцієнтів передавання;

- неповний, порівняно з амплітудними радіопеленгаторами з вузькою ДН. захист від когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі (деякі варіанти інтерферометричних радіопеленгаторів, наприклад, фазові, захисту від такого різновиду завад не мають).

Кожен метод пеленгування має свої слабкі та сильні сторони. Найпростіші методи можуть бути недостатньо точними чи мати проблеми внаслідок поляризаційних похибок, але вони прийнятні для застосування в деяких рухомих службах або за необхідності мінімальних матеріальних затрат. Найпереводніші методи, що базуються на застосуванні ПЕОМ, можуть забезпечити виключно точні результати, а також мобільність. Крім цього, виробники радіопеленгаторних систем нині можуть запропонувати найрізноманітніші технічні рішення в залежності від конкретних цілей радіопеленгації.

### **5.5 Вибір методу пеленгації та типу радіопеленгатора**

У процесі вибору методу пеленгації та типу радіопеленгатора доцільно:

- 1)мати якомога більший обсяг інформації щодо характеристик і параметрів радіопеленгаторів;

- 2)врахувати, що радіопеленгатор повинен забезпечувати пеленгування всієї номенклатури радіосигналів, для роботи з якими він буде вживатися, тобто як вузькосмугових, так і широкосмугових сигналів, при цьому, необхідно звертати увагу на показники якості пеленгування з урахуванням впливу радіозавад, а не лише на співвідношення сигнал/завада (сигнал/шум);

3) провести оцінювання умов використання радіопеленгатора в регіоні (можливість оптимального розміщення АС, рівень забудови, рельєф місцевості тощо);

4) орієнтуватися за умов експлуатації, близьких до ідеальних, на простіші, і, як правило, дешевші типи радіопеленгаторів (при сумірних значеннях їхніх основних параметрів), при цьому необхідно мати на увазі, що для покращення якості визначення місцезнаходження ДРВ, можливо доведеться збільшити кількість радіопеленгаторів з метою виключення недостовірних пеленгів. Для складних умов пеленгування доцільно орієнтуватися на завадостійкіші типи радіопеленгаторів - інтерферометри або на пеленгатори з формуванням вузької ДН (див. табл. 5.1).

Характеристики радіопеленгаторів визначаються не тільки їхніми параметрами, властивими для певного типу радіопеленгатора, а й конкретним конструктивним виконанням. У процесі вибору радіопеленгатора необхідно враховувати такі характеристики [10]:

- метод пеленгування (принцип дії та детальна характеристика особливостей його реалізації);

- діапазон частот (наявність його розбивки на піддіапазони);

- чутливість (мінімальний рівень сигналу в місці розміщення АС, за якого реалізується інструментальна точність протягом робочого часу пеленгування) та значення чутливості в діапазоні частот (графічна залежність або детальна таблиця);

- поляризація сигналів (повинні бути вказані кути місця, за яких зберігається точність пеленгування);

- інструментальна (апаратна) точність пеленгування (значення середньоквадратичної похибки в градусах);

- робочий час пеленгування (час, протягом якого реалізується інструментальна похибка пеленгування);

- мінімальний час пеленгування (час, протягом якого може бути отриманий відлік пеленга);

- точність пеленгування за наявності когерентної завади (для одного відбитого радіосигналу (радіозавади) та для багаторазово відбитих сигналів);

- точність пеленгування за наявності завади в сумісному каналі (наявність двох сигналів на різних частотах у тракці ПЧ РПП);

- точність пеленгування модульованих сигналів (вузькосмугових АМ і ЧМ сигналів, широкосмугових ЧМ сигналів тощо);

- динамічний діапазон;

- показник якості пеленга (його опис і кількісні характеристики);

- вимоги до розміщення АС (повинні бути детально обумовлені вимоги, за яких виключається або мінімізується вплив місця розташування антен неточність пеленгування та інші параметри радіопеленгатора);

- відомості про експлуатаційні характеристики та випробування (зокрема, повинна бути вказана експлуатаційна точність пеленгування та кількість недостовірних пеленгів під час проведення офіційних експлуатаційних випробувань);

- додаткові відомості про радіопеленгатор (наприклад, наявність режиму автоматичного пеленгування та можливості пеленгування в певних смугах частот, завадостійкість тощо);

- конструктивні та інші характеристики (розміри та склад АФС, наявність щогли та грозозахисту, умови електроживлення та експлуатації, маса, габаритні розміри тощо);



- вартість та умови поставки.

## Розділ 6 ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

### 6.1 Класифікація радіохвиль

Існує декілька варіантів розподілу діапазонів радіочастот: за значенням частоти, довжини хвилі тощо. На практиці найчастіше застосовується варіант розподілу радіочастот за діапазонами, який наведений в табл. 6.1 [4].

Таблиця 6.1 - Розподіл радіочастот за діапазонами

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

Діапазон коротких хвиль (КХ) поділяється на піддіапазони:

- низьких частот (НЧ; LF, Low Frequency);
- середніх частот (СЧ; MF, Medium Frequency);
- високих частот (ВЧ; HF, High Frequency).

Діапазон ультракотких хвиль (УКХ) поділяється на піддіапазони:

- дуже високих частот (ДВЧ; VHF, Very High Frequency);
- ультрависоких частот (УВЧ; UHF, Ultra High Frequency);
- надвисоких частот (НВЧ; SHF, Super High Frequency);
- вельмивисоких частот (ВВЧ; EHF, Extra High Frequency);
- гіпервисоких частот (ГВЧ; NHF, Hyper High Frequency).

Зазначений розподіл радіочастот за діапазонами досить умовний, але

він ґрунтується, з одного боку, на декадній зміні значення частоти, з іншого - на єдності особливостей поширення радіохвиль у просторі, що у свою чергу пов'язане з властивостями оброблення сигналів і побудови приймальних трактів РЕЗ і технічних засобів радіоконтролю, зокрема, їхніх АС.

У загальному випадку під час роботи систем радіозв'язку, розташованих на поверхні Землі, рівень радіосигналу, що приймається РЕЗ після його проходження трасою поширення радіохвиль від передавальної до приймальної антен, суттєво залежить від рельєфу місцевості на трасі, стану і характеристик тропосфери та іоносфери відповідно до пори року, часу доби та інших умов.

Іоносферою називають іонізовану область атмосфери, що розташована над поверхнею Землі в межах висот від (60 - 80) км до (1000 - 1200) км. Основним джерелом іонізації атмосфери є Сонце, крім того, іонізації сприяють також космічні

промені та космічний пи́л, які безперервно надходять до атмосфери Землі. Окрім цих постійних джерел іонізації атмосфери існують і нерегулярні: потужні сонячні спалахи, потоки метеорів тощо. Внаслідок дії джерел іонізації в атмосфері створюються іонізовані шари, які плавно переходять з одного в інший, і щільність яких залежить від висоти над поверхнею Землі, сонячної активності, товщини атмосфери тощо. Тому розподіл інтенсивності іонізації за висотою в реальній іоносфері неоднорідний і має декілька максимумів. Розрізняють три шари з максимальним рівнем іонізації: *D*, *E* і *F*. Ступінь іонізації цих шарів безпосередньо залежить від пори року, часу доби та географічного місця розташування. Шар *D* знаходиться на висоті близько (60 - 100) км, шар *E* - (100 - 150) км і шар *F* - (150 - 420) км. Шар *F* має максимальну електронну концентрацію і є основним відбивним шаром для іоносферного поширення КХ (упритул до 10-метрового діапазону). Вдень цей шар "розчіплюється" на два шари: *F*<sub>1</sub>, який знаходиться на висоті від 150 км до 250 км, і *F*<sub>2</sub>, який знаходиться на висоті від 300 км до 420 км.

Унаслідок впливу природних і (або) штучних чинників радіосигнал набуває паразитних амплітудно-фазових змін, причому деякі з них мають конкретні назви: мерехтіння, загальні та частотно-селективні завмирання тощо. Найпоширеніша причина виникнення завмирань сигналу - це багато-променеве поширення радіохвиль.

Механізм поширення радіохвиль поділяється на вісім видів, а саме:

- через тропосферний (атмосферний) хвилевід;
- за допомогою земної (поверхневої) хвилі;
- за допомогою іоносферної хвилі;
- за допомогою просторової хвилі, яка складається із прямої хвилі та відбитих хвиль;
- за рахунок дифракції хвиль;
- шляхом тропосферного поширення (розсіювання);
- у межах прямої видимості;
- внаслідок розсіювання радіохвиль гідрометеорами.

Деякі основні довготривалі та короточасні механізми поширення радіохвиль схематично зображені відповідно на рис. 6.1 і рис. 6.2.

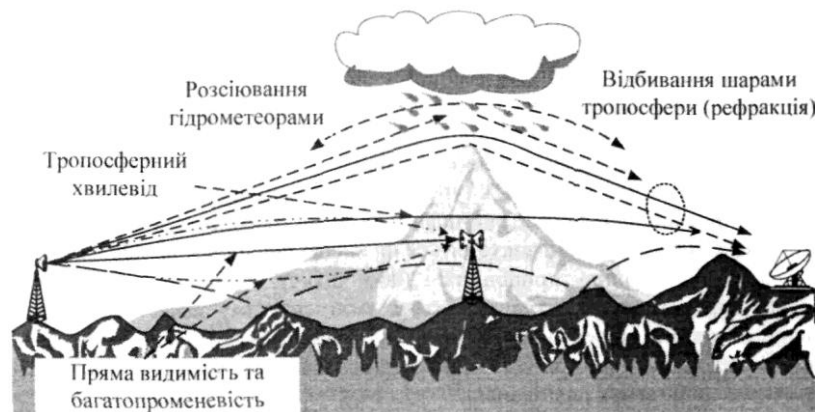


Рис. 6.1. Довготривалі механізми поширення радіохвиль

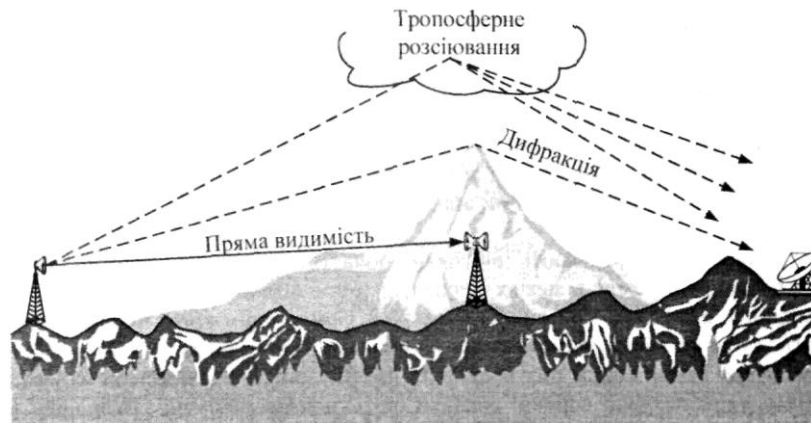


Рис. 6.2. Короткочасні механізми поширення радіохвиль

Довготривалі механізми поширення радіохвиль обумовлені регулярними процесами в іоносфері, які визначають так званий „клімат іоносфери" та пов'язані з добовими, сезонними та одинадцятирічними змінами сонячної активності. До довготривалих механізмів поширення радіохвиль відносяться: тропосферне розсіювання, дифракція та поширення радіохвиль у межах прямої видимості. Ці радіохвилі можуть бути носіями як корисного сигналу, так і завадових сигналів. Короткочасні механізми поширення радіохвиль обумовлені виникненням аномальних умов у тропосфері (інверсні зміни температури за висотою, випадіння гідрометеорів, поява тропосферного хвилеводу тощо) та в іоносфері (іоносферні збурення під час спалахів сонячної активності та поява дуже іонізованих областей на рівні спорадичного шару  $E_s$ ). При цьому короткочасні механізми є носіями лише завадових сигналів, але вони можуть призводити до зростання рівнів корисних сигналів.

Найповніші відомості стосовно властивостей поширення радіохвиль наведені в Рекомендаціях ІТУ серії Р [56, 57, 59, 60, 97-110]. Зведені відомості стосовно поширення і дальності дії різних видів радіохвиль, та практичного застосування смуг радіочастот різних діапазонів наведені в табл. 6.2.

## 6.2 Особливості поширення радіохвиль у різних діапазонах частот

**Діапазон частот від 10 кГц до 30 МГц (діапазон КХ).** На частотах до 30 МГц потрібно урахувати два режими поширення радіохвиль: режим земної хвилі (яка, в основному, визначає рівень корисного сигналу) і режим іоносферної хвилі (яка сприяє поширенню завадових сигналів). Поширення КХ на великі відстані, які можуть сягати декількох тисяч кілометрів, здійснюється просторовою хвилею внаслідок її відбиття від іоносфери.

У неоднорідній за висотою іоносфері існує функціональний зв'язок між кутом падіння  $\theta$  і кутом заломлення. Частоти, на яких радіохвилі вже не покидають межі іоносфери, називаються *максимально застосовними частотами*  $f_{max}$ . Їх можна вважати вторинними показниками іоносфери. Значення  $f_{max}$  (у кГц) визначається співвідношенням

$$f_{max} = \sqrt{\frac{80.8 N}{1 - \sin^2 \theta}} = \sqrt{80.8 N} \cdot \sec \theta, \quad (6.1)$$

де  $N$  - індекс заломлення (для земної поверхні становить  $N=325$ ).

Якщо частота радіохвилі  $f$  обирається меншою, ніж  $f_{max}$  то її промінь відбивається в напрямку до поверхні Землі. На частотах  $f > f_{max}$  промінь радіохвилі заломлюється в іоносферу, через яку потрапляє у відкритий космос, тому радіозв'язок з об'єктом, що знаходиться на поверхні Землі, стає неможливим, але при

цьому створюються умови для радіозв'язку з космічними об'єктами.

Зона покриття КХ передавача характеризується наявністю „зони мовчання" з внутрішнім радіусом близько 50 км (визначається максимальною відстанню поширення поверхневої хвилі) і зовнішнім радіусом близько 180 км (визначається початковою точкою приймання просторової радіохвилі). При наближенні до зони мовчання з віддаленням від передавача рівень його сигналу зменшується, а потім радіозв'язок припиняється зовсім. У подальшому зі збільшенням відстані радіозв'язок відновлюється за рахунок появи просторової радіохвилі, відбитої від іоносфери.

Таблиця 6.2 - Особливості поширення та застосування радіохвиль

Діапазон, частота	Вид	Дальність	Застосування
НЧ (30-300) кГц	Земна хвиля, іоносферна	Кілька тисяч км	Радіонавігаційний та стратегічний зв'язок на
СЧ (0,3-3) МГц	Земна хвиля, іоносферна хвиля	Кілька тисяч км	Зв'язок між пунктами на середніх відстанях, радіомовний і морський
ВЧ (3 -30) МГц	Іоносферна хвиля	До кількох тисяч км	Зв'язок між пунктами на великих і коротких відстанях, глобальне радіомовлення, рухомий зв'язок
ДВЧ (30-300) МГц	Просторова хвиля, тропосферне розсіювання, дифракція	До кількох сотень км	Зв'язок між пунктами на коротких і середніх відстанях, рухомий і персональний зв'язок, локальні мережі, звукове та телевізійне
УВЧ (0,3-3) ГГц	Просторова хвиля, тропосферне розсіювання, дифракція, в межах прямої	До 100 км, Земля-космос	Зв'язок між пунктами на коротких і середніх відстанях, рухомий, персональний і супутниковий зв'язок, звукове та телевізійне мовлення, локальні мережі
НВЧ (3 - 30) ГГц	В межах прямої видимості	До 30 км, Земля-космос	Зв'язок між пунктами на коротких відстанях, рухомий, персональний і супутниковий зв'язок, звукове та телевізійне мовлення локальні мережі
ВВЧ (30 - 300) ГГц	В межах прямої видимості	До 20 км, Земля-космос	Зв'язок між пунктами на коротких відстанях, мікросхемні та локальні мережі, персональний і

Основні особливості поширення радіохвиль у діапазоні КХ такі:

- багатопрореневість;
- інтерференція та завмирання радіохвиль у пункті приймання;
- надто великі відстані поширення (до 3 тисяч км у разі дальнього зв'язку і до 500 км - у разі близького зв'язку);
- залежність умов проходження сигналів від часу доби: найкраще проходження спостерігається в нічний час, найгірше - вдень.

Амплітуда відбитого від іоносфери сигналу характеризується добовими коливаннями внаслідок зміни рівня поглинання радіохвиль в іоносфері. Рівень втрат  $L$  залежить від частоти сигналу/ і наближається до рівня втрат у вільному просторі, при цьому він може бути розрахований за рівнем напруженості електромагнітного поля  $E$ :

$$L = 142 + 20 \log/(MГц) - E, \text{ дБ} \quad (6.2)$$

Радіочастотний моніторинг у діапазоні КХ може бути організований із застосуванням стаціонарних станцій радіомоніторингу (для проведення контролю РЕЗ дальнього радіозв'язку), що обумовлено громіздкими АС, необхідними для забезпечення пеленгування ДРВ, та, як виняток, рухомих станцій радіомоніторингу (для проведення контролю РЕЗ, зв'язок із якими організований за рахунок поширення поверхневих радіохвиль). Особливості поширення радіохвиль у цьому діапазоні розкриті в Рекомендаціях МСЕ [56, 103, 105-108].

**Діапазон частот від 30 МГц до 1 ГГц.** У цьому діапазоні (за винятком його нижнього краю) поширення радіохвиль відбувається в шарі тропосфери, що знаходиться безпосередньо над поверхнею Землі, а не через регулярні шари іоносфери (у певні пори року та час доби на частотах до 70 МГц може здійснюватися радіозв'язок на великих відстанях за рахунок поширення радіохвиль через спорадичний іоносферний шар  $E$ ).

Закони поширення радіохвиль зазначеного діапазону частот у вільному просторі ґрунтуються, в основному, на явищі рефракції радіохвиль у нижньому шарі атмосфери - тропосфері. Умови поширення радіохвиль у тропосфері визначаються температурою, тиском і вологістю повітря та описуються узагальненими параметром - індексом заломлення  $N$  або вертикальним градієнтом індексу заломлення  $dN/dh$ , який більш уживаний і характеризує зміну коефіцієнта заломлення залежно від висоти. Розподіл рефракції за видами (із зазначенням параметра  $dN/dh$ ) наведений у табл. 6.3, а на рис. 6.3 умовно позначені різні види рефракції.

З точки зору дальнього та наддальнього поширення УКХ найбільший інтерес представляють критична рефракція та надрефракція. Коли вертикальний градієнт індексу заломлення досягає значення  $dN/dh = -15,7 \cdot 10^{-2} M^{-1}$ , виникає критична рефракція, за якої електромагнітні хвилі поширюються на незмінній висоті над поверхнею Землі, тобто огинають її.

У разі надрефракції, коли значення вертикального градієнта індексу заломлення становить менше мінус  $15,7 \cdot 10^{-2} M^{-1}$ , радіус кривизни траєкторії поширення радіохвиль стає меншим радіуса земної кулі, тому радіохвилі зазнають повного внутрішнього відбивання, а потім повертаються на поверхню Землі. Завдяки багаторазовому відбиванню радіохвилі поширюються на великі відстані. Часто ці механізми поширення радіохвиль називають тропосферним (атмосферним) хвилеводом. Таке явище може спостерігатися в сантиметровому діапазоні хвиль, рідше - в дециметровому та метровому діапазонах і проявляється за умови, якщо температура повітря з висотою убиває повільніше, а його вологість швидше, ніж для нормальної рефракції (наприклад, над водними поверхнями під час переходу від негоди до гарної погоди, коли в атмосфері створюються шари повітря з різною діелектричною проникністю). Висота атмосферного хвилеводу для критичної рефракції становить кілька десятків метрів. Для появи надрефракції товщина шару повинна бути не меншою, ніж 180 м для діапазону 144 МГц і 90 м для діапазону 430 МГц.

Таблиця 6.3 - Види рефракції радіохвиль у тропосфері

Вид тропосферної рефракції		Вертикальний градієнт індексу заломлення $dN/dh, M^{-1}$
Негативна		більше 0
Нульова (відсутність рефракції)		0
Позитивна	знижена	від 0 до мінус $4,3 \cdot 10^{-2}$
	нормальна	мінус $4,3 \cdot 10^{-2}$
	підвищена	від мінус $4,3 \cdot 10^{-2}$ до мінус $15,7 \cdot 10^{-2}$
	критична	мінус $15,7 \cdot 10^{-2}$
	надрефракція	менше мінус $15,7 \cdot 10^{-2}$



Рис. 6.3. Поширення радіохвиль для різних видів рефракції

У вищих смугах частот радіозв'язок забезпечується на відстань прямої видимості  $R_{нв}$ , яка, з урахуванням явища рефракції в атмосфері (для нормальної рефракції), визначається за формулою

$$R_{нв} = 4,12 (\sqrt{h_{пер}} + \sqrt{h_{пр}}), \quad (6.3)$$

де  $h_{пер}$  - висота антени передавача над поверхнею Землі;

$h_{пр}$  - висота приймальної антени над поверхнею Землі.

Відхилення від умов поширення радіохвиль у вільному просторі обумовлені їхнім тропосферним розсіюванням і дифракцією на перешкодах на трасі поширення (нерівності рельєфу місцевості, будівлі та споруди, побудовані з різних матеріалів, лінії електропередач тощо).

До основних особливостей поширення радіохвиль у цьому діапазоні частот, окрім наведених вище, можна віднести:

- відсутність явища відбивання радіохвиль регулярною іоносферою;
- суттєве поглинання радіохвиль поверхнею ґрунту та місцевими предметами;
- мала дифракційна здатність;
- відсутність явища відбивання від сухої поверхні ґрунту;
- незалежність дальності поширення поверхневої радіохвилі від пори року та часу доби;
- залежність дальності поширення від рельєфу місцевості;
- значне поглинання радіохвиль з вертикальною поляризацією лісовою рослинністю;
- відбивання радіохвиль від будівель і металевих конструкцій, що призводить до виникнення багатопроменевості їх поширення;
- збільшення дальності поширення радіохвиль над поверхнями з високою електропровідністю та діелектричною проникністю (наприклад, водною);
- залежність затухання радіохвиль від діапазону частот: зі збільшенням частоти затухання зростає (наприклад, затухання на частоті 450 МГц на 10 дБ більше, ніж на частоті 150 МГц).

Умови поширення радіохвиль у цьому діапазоні розглядаються в Рекомендаціях МСЕ [57, 59, 97, 98, 100, 104, 109, 110].

Затухання сигналів характеризується середнім значенням утрат їхньої потужності на трасі поширення радіохвиль. Рівень утрат залежить від відстані зв'язку, типу та щільності забудови на трасі поширення, несучої частоти передавача, висоти підвісу над поверхнею Землі передавальної і приймальної антен та інших чинників. Як правило, в залежності від відстані потужність сигналу затухає зі швидкістю (20 - 40) дБ/декада. Для розрахунків утрат потужності сигналу на його трасі поширення застосовується метод *Окумура-Хата*, що набув поширеного застосування і дозволяє врахувати особливості поширення радіохвиль в умовах місцевої забудови, які описуються моделлю Окумура-Хата [95, 96]. Крім того, за результатами застосування цього методу можна оцінити втрати потужності сигналу для різних типів місцевості.

Для районів із типовою міською забудовою (*typical urban*) розрахункові втрати потужності сигналу  $L_{urban}$  (у дБ) становлять

$$L_{urban} = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{nep} + (44,9 - 6,55 \lg hnp) \lg R - a(hnp), \quad (6.4)$$

де  $f$  - несуча частота;

$h_{nep}$  і  $hnp$  - висота підвісу над поверхнею Землі передавальної та приймальної антен відповідно;

$R$  - відстань зв'язку;

$a(hnp)$  - поправочний коефіцієнт.

Значення поправочного коефіцієнта  $a(h_{nr})$  залежить від типу місцевості. Для малих та середніх міст він визначається за формулою [111]

$$a(hnp) = 1,11 \lg f - 0,7 \times hnp - (1,56 \lg f - 0,8) \quad (6.5)$$

для великих міст - за формулами:

$$a(hnp) = 8,29 [\lg(1,54 hnp)]^2 - 1,1 \text{ для } f < 440 \text{ МГц}, \quad (6.6)$$

$$a(hnp) = 3,2 [\lg(11,75 hnp)]^2 - 4,97 \text{ для } f \geq 440 \text{ МГц}. \quad (6.7)$$

У сільській місцевості (*rural*) утрати потужності сигналу  $L_{rural}$  (у дБ) становлять

$$L_{rural} = L_{urban} - 4,78 (\lg f)^2 + 1,33 \lg f - 40,94. \quad (6.8)$$

Модель Окумура-Хата може бути застосована також для розрахунків утрат потужності сигналу внаслідок поширення радіохвиль вищих діапазонів частот, наприклад, у діапазоні 1800 МГц для систем рухомого зв'язку. При цьому вживають додаткові поправочні коефіцієнти.

В разі використання моделі Кся-Бертоні, яка базується на застосуванні рівнянь хвильової оптики та враховує, зокрема, дифракцію радіохвиль на краях металевих дахів, відбивання радіохвиль від споруд і стін будівель, визначено, що:

- потужність сигналу затухає зі швидкістю 38 дБ/декада в залежності від відстані зв'язку;

- потужність сигналу затухає зі швидкістю 21 дБ/декада в залежності від значення несучої частоти передавача;

- у точці приймання потужність сигналу збільшується зі швидкістю 18 дБ/декада в залежності від значення різниці між висотою підвісу передавальної антени і висотою навколишніх будівель;

- у передмістях утрати на трасі поширення радіохвиль на 9,8 дБ менші, ніж у межах міста.

Радіомоніторинг у цьому діапазоні частот може бути організований шляхом використання, як стаціонарних, так і мобільних станцій радіомоніторингу.

**Діапазон частот від 3 ГГц до 20 ГГц.** Наведені вище особливості поширення

радіохвиль у нижчих діапазонах частот (за винятком іоносферних хвиль) мають місце і для цього діапазону. Але при цьому треба враховувати явища ослаблення, розсіювання та кросполяризації, що обумовлені впливом гідрометеорів та інших атмосферних явищ. На частотах понад 10 ГГц спостерігається також поглинання радіохвиль водяною парою, а на частотах понад 15 ГГц необхідно враховувати ослаблення радіохвиль в атмосферних газах. В умовах поширення радіохвиль над поверхнею Землі можуть мати місце їхнє завмирання, що обумовлені дифракцією, багатопроменевим поширенням в атмосфері та умовами траси поширення, розширення променя, ослаблення в атмосфері тощо. У зв'язку зі значним ослабленням радіохвиль для передавання використовуються направлені антени. Інформація стосовно врахування втрат потужності сигналу в атмосфері в цьому діапазоні частот міститься в Рекомендаціях МСЕ [98, 100-104, 110].

Моніторинг спектра в діапазоні НВЧ організується шляхом застосування спеціалізованих рухомих комплексів радіомоніторингу й портативного обладнання.

**Діапазон частот понад 20 ГГц.** Основна особливість цього діапазону - це схильність до атмосферних впливів, які призводять до ослаблення сигналів і, як наслідок, до необхідності застосування передавальних антен з вузькою ДН. Зокрема, опади у вигляді дощу призводять до значного поглинання й розсіювання радіохвиль. Проте на цих частотах існують так звані частотні „вікна" з досить низьким ослабленням сигналу і смуги „поглинання", в яких спостерігається суттєве ослаблення сигналу. Інформація стосовно врахування втрат потужності сигналу в атмосфері в цьому діапазоні частот міститься в Рекомендаціях МСЕ [98, 99, 101, ПО].

Радіомоніторинг у цьому діапазоні не проводиться. Вимірювання параметрів радіовипромінювання РЕЗ під час проведення технічного радіоконтролю може здійснюватися із застосуванням портативного обладнання та, як виняток, спеціалізованих мобільних станцій технічного радіоконтролю.

## **Розділ 7 РАДІОІНТЕРФЕЙСИ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ**

### **7.1 Методи доступу до середовища передавання даних**

Одна з основних проблем у процесі побудови телекомунікаційних мереж - це визначення методу доступу безлічі абонентів (термінальних пристроїв) до загального комунікаційного ресурсу (у випадку супутникових систем зв'язку - до транспондерів) [112]. Для забезпечення потреб частотокористувачів у послугах зв'язку за умов різкого зростання їхньої кількості та обмеженого ресурсу середовища передавання в безпроводових системах зв'язку застосовуються дедалі ефективніші методи доступу користувачів до середовища передавання даних (до телекомунікаційних мереж). Зокрема, нині в переважній більшості сучасних радіотехнологій і систем зв'язку використовуються методи множинного доступу до телекомунікаційних мереж, які базуються на застосуванні ущільнення (мультиплексування) частотних каналів, що дозволяє кільком користувачам спільно використовувати певне середовище, не створюючи один одному неприпустимих радіо-завад. Для безпроводових телекомунікацій таке ущільнення може проводитися за чотирма вимірами: у просторі, з часом, за частотою та за кодом [10, 111, 112].



Відповідно до цього методи доступу до телекомунікаційних мереж поділяються на такі, що використовують ущільнення з:

- просторовим розділенням;
- частотним розділенням;
- часовим розділенням;
- кодовим розділенням.

Способи моніторингу спектра таких РЕЗ у значній мірі залежать від методів їхнього доступу до середовища передавання даних.

**Ущільнення з просторовим розділенням** (Space Division Multiplexing, SDM) базується на просторовій селекції сигналів, тобто на виділенні кожному абоненту певної частини просторової зони від загальної зони обслуговування радіопередавача (базової станції) і реалізується шляхом використання направлених (секторних) антен та адаптивного регулювання вихідної потужності передавача. При цьому різні радіостанції можуть працювати на одній частоті на рознесених територіях або на одній території, але в різних напрямках. Принцип SDM пояснюється рис. 7.1.

На рис. 7.1, а умовно зображені п'ять частотних каналів, а на рис. 7.1, б - тривимірна система координат, осі якої відповідають часу  $t$ , частоті  $f$  та коду  $c$ . Для кожного частотного каналу  $k_1, k_2, k_3$  виділена своя зона простору  $S_1, S_2, S_3$ , що забезпечує просторове розділення каналів і запобігає утворенню радіозавад у сусідніх каналах. Для кожного з решти каналів потрібні свої зони простору. Найхарактернішим прикладом реалізації SDM є схема множинного доступу із просторовим розділенням (SDMA, Space Division Multiple Access). Зазвичай, схема множинного доступу SDMA використовується не сама по собі, а в комбінації з іншими схемами (FDMA, TDMA, CDMA), зокрема, в мережах звукового мовлення, стільникового GSM зв'язку (за принципом повторного використання частот), радіорелейних лініях, земних станціях супутникового зв'язку (лінія „вгору“) тощо. Моніторинг радіочастотного спектра РЕЗ, які базуються на застосуванні методу SDM, можливий шляхом використання рухомих або портативних засобів.

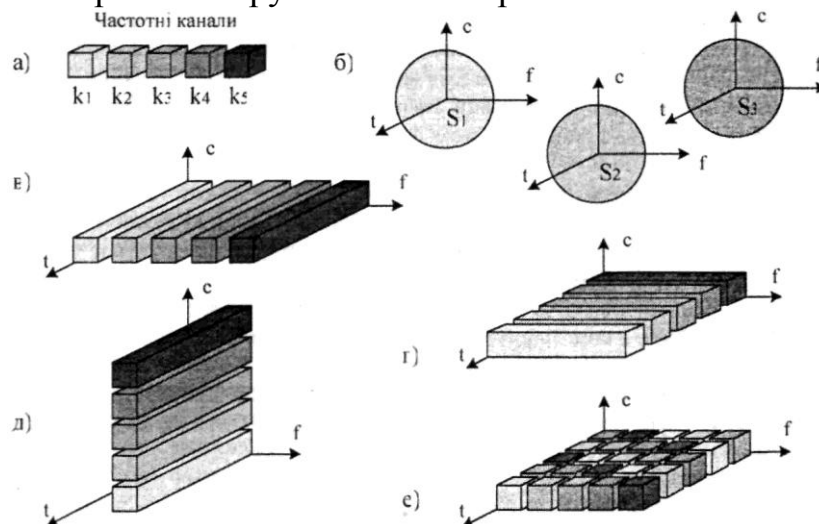


Рис. 7.1. Принципи ущільнення частотних каналів

**Ущільнення з частотним розділенням** (Frequency Division Multiplexing, FDM) базується на розділенні загальної смуги частот на декілька окремих смуг, які не перекриваються (рис. 7.1, в), з виділенням кожному РЕЗ (у тому числі, й тимчасово) „власної“ частоти (смуги частот), на яких вони можуть працювати безперервно, не створюючи радіозавад іншим передавачам. Задля уникнення перекриття смуг частот на межі їхнього можливого стику, що може призвести до виникнення радіозавад від

сусідніх каналів, використовуються так звані „захисні інтервали" за частотою. Метод FDM застосовується для організації одночасного доступу до телекомунікаційних мереж базової (лінія „вниз") і абонентської (лінія „вгору") станцій. В разі виділення для кожної з ліній різних частот говорять про організацію *дуплексного каналу*. Такий принцип організації називається дуплексом із частотним розділенням (FDD, Frequency Division Duplex). Розподіл може бути фіксованим або динамічним. Найпростіший різновид методу FDM -FAMA (Fixed Assignment Multiple Access), за яким кожній станції (кожному каналу) присвоюється своя фіксована смуга частот (несуча частота). Таким чином, для встановлення дуплексного з'єднання між двома станціями (транспондерами) необхідно задіяти 4 частотні канали.

Типовим прикладом FDM є організація зв'язку в супутникових системах, які працюють у діапазоні С (за таким принципом організована робота переважної кількості стволів російських космічних станцій на геостаціонарних орбітах). Для загальної ширини смуги частотних каналів „вгору" і „вниз" рівної 500 МГц космічна станція підтримує, як правило, 12 транспондерів, ширина частотного каналу кожного з яких дорівнює 36 МГц (плюс захисні інтервали шириною 4 МГц між каналами та інтервали по 10 МГц на краях діапазону 500 МГц). Кількість каналів може бути подвоєна за рахунок використання ортогональної поляризації сигналів, при цьому 12 непарних транспондерів працюють з вертикальною поляризацією антен, 12 парних - з горизонтальною.

Найпоширенішим застосуванням методу FDM є множинний доступ із частотним розділенням (FDMA, Frequency Division Multiple Access). Ущільнення з частотним розділенням призводить до невиправданих витрат частотного ресурсу. У „чистому" виді такий принцип ущільнення використовується в системах стільникового зв'язку першого покоління (1-st Generation, 1G) -NMT-450, AMPS, а в комбінації з іншими методами - в системах IS-54, IS-95, IS-136, PACS, GSM-900 і DCS-I800.

Кількість абонентів  $N_{FDMA}$  на одну базову станцію (сектор) у системах, робота яких ґрунтується на застосуванні методу FDMA у смузі частот шириною  $\Delta F$ , розраховується за формулою

$$N_{FDMA} = \Delta F / (\Delta f_k + \Delta f_3) \quad (7,1)$$

Де  $\Delta f_k$  — ширина смуги частот займаної корисним сигналом (нормується на рівні мінус 20 дБ);

$\Delta f_3$  - ширина смуги частот захисного інтервалу.

Подальшим розвитком методу FDMA є метод SCPS (Space Communication Protocol Standards), за яким для кожного каналу виділяється одна несуча частота. Цей метод використовується виключно для організації мереж супутникового зв'язку. При цьому весь частотний діапазон розділяється на підканали, кожний зі своєю модульовальною частотою несучої. Для передавання мовлення в системах безпроводової телефонії застосовується метод виділення одного каналу на одній несучій частоті (SCPC, Single Channel Per Carrier), за яким весь частотний діапазон поділяється на частотні підканали шириною 4 кГц. Для обох методів розподіл каналів між станціями реалізується на базі застосування методу множинного доступу з призначенням каналу за запитом (DAMA, Demand Assigned Multiple Access), за яким у частотному діапазоні виділяється один спеціальний службовий канал для передавання запитів щодо встановлення з'єднання від кожної (абонентської) станції на центральну станцію (до речі, метод множинного доступу DAMA може бути реалізований і на базі застосування часового розділення каналів). За цим же методом здійснюється розподіл каналів між станціями таким чином, щоб не було двох станцій,

які б одночасно працювали на одному частотному каналі. За умов використання методу динамічного частотного розділення після закінчення сеансу зв'язку з певним абонентом виділена йому для зв'язку частота може бути надана новому абоненту. Швидкість передавання даних в кожному каналі залежить від його ширини, механізму кодування та виду модуляції. Уперше метод FDMA/DAMA був реалізований у системі супутникового зв'язку Intelsat, в якій інформація передається кадрами тривалістю 50 мс, що циклічно повторюються і складаються з 50 тайм-слотів тривалістю 1 мс, кожний з яких закріплений за певною земною станцією (у системі Intelsat їх не більше 50).

Застосування методу DAMA порівняно з методом FAMA дозволяє підвищити ефективність використання спектра на (60 - 70) %, тобто збільшити кількість абонентських станцій на одну базову станцію.

Моніторинг радіочастотного спектра РЕЗ, які використовують методи FDM, може бути забезпечений рухомими, портативними та, частково, окремими стаціонарними засобами і базується на локалізації місцезнаходження ДРВ (за результатами пеленгування або визначення напрямку на ДРВ) і на розширенні смуг частот аналізу електромагнітної обстановки.

Гнучкішим є ущільнення з часовим розділенням (Time Division Multiplexing, TDM), за яким декілька передавачів можуть одночасно транслювати сигнали на одній частоті в межах однієї зони покриття, але в різні, строго визначені для кожного з них інтервали часу (рис. 7.1, г), що дозволяє ефективніше використовувати частотний ресурс шляхом динамічного перерозподілу часу (часових інтервалів) між абонентами мережі (наприклад, у системах стандарту DECT передавання даних гарантовано здійснюється кожні 10с). Застосування методу TDM не потребує перестроювання частоти передавачів. Призначення різних часових інтервалів для лінії „вгору” і лінії „вниз”, які працюють на одній частоті, називається дуплексом із часовим розділенням (TDD, Time division Duplex). У разі перекриття передач двох РЕЗ виникають так звані „завади суміщеного каналу”. Найпоширеніше застосування методу TDM - множинний доступ із часовим розділенням (TDMA, Time Division Multiple Access), який реалізований у системах зв'язку 2G (D-AMPS, GSM-900, DCS-1800, IS-54, IS-136, DECT, PHS, PACS), радіотехнологіях Token Ring, Ethernet, ATM.

В РЕЗ, робота яких ґрунтується на застосуванні TDMA, зв'язок реалізується шляхом передавання інформації кадрами (фреймами), що циклічно повторюються, і розділені на тайм-слоти однакової тривалості. Кожному передавачу на постійній або тимчасовій основі призначається певний тайм-слот. Передавачам із більшим трафіком призначаються триваліші інтервали часу, ніж передавачам із меншим обсягом трафіка. При цьому основне завдання - зберегти кадрову синхронізацію, для чого на початку кожного кадру передається синхронізуюча послідовність. Стандарт СЕРТ визначає структуру TDMA-кадру для передавання голосової інформації, який обслуговує 16 незалежних голосових потоків. Загальна тривалість кадру складає 2 мс, а швидкість передавання наземною станцією базового TDMA-кадру СЕРТ дорівнює 120,832 Мбіт/с. Для організації множинного доступу з метою передавання цифрової інформації технологія TDMA досконаліша, ніж FDMA.

Механізм TDMA без централізованого управління доступом реалізований у класичній схемі управління *Aloha* (за протоколом P-Aloha), за якою доступ кожній станції до телекомунікаційної мережі надається в будь-який час. При цьому початок передавання й тривалість повідомлень не фіксовані, що може призводити до конфліктів між ними. Ефективність використання РЧР становить 18%.

У разі використання схеми *Aloha з розділенням* (за протоколом S-Aloha) часові інтервали роботи передавачів синхронізуються (передавання починається в строго визначений час). Доступ до мережі не контролюється. Ефективність використання ресурсу збільшується майже у двічі й досягає 38,5 %. Системи типу *Aloha* добре функціонують у разі відносно малого завантаження каналу зв'язку, але не обмежують час максимальної затримки доступу до мережі та мінімальну пропускну здатність усієї системи.

У разі множинного доступу з детектуванням несучої (CSMA, Carrier Sense Multiple Access) доступ передавача до телекомунікаційної мережі дозволяється лише в разі, якщо відсутнє випромінювання на несучій частоті, що зменшує ймовірність виникнення конфліктів, але не вирішує проблему „прихованого” терміналу (виникнення конфлікту між легальним та „прихованим” передавачами під час їхньої одночасної роботи). Суть проблеми „прихованого” терміналу ілюструється рис. 7.2 і полягає в такому. Через те, що зона обслуговування терміналу А покриває зону обслуговування терміналу В, але недоступна для терміналу С, у випадку проведення сеансу зв'язку між терміналами А і В завдяки меншій відстані останнього до терміналу А він „маскує” сигнали терміналу А. Тому в разі ініціювання в цей час зв'язку з боку терміналу С із терміналом А термінал В не може прийняти сигнали від терміналу А, несуча частота не детектується і середовище виглядає вільним. В результаті термінал С також починає передавання, що викликає конфлікт в терміналі В. Але термінал А не може виявити цей конфлікт і продовжує передавання інформації. Таким чином термінал А є прихованим для терміналу С та навпаки.

В локальних обчислювальних мережах стандарту IEEE 802.11 використовується модернізована схема множинного доступу з контролем несучої частоти CSMA (Carrier Sense Multiple Access) з виключенням конфліктів (CSMA/CA) за правилом обслуговування "перший прийшов - перший обслуговується", а у специфікації HiperLAN 1 (High Performance Radio Local Area Network) - удосконалена схема безпріоритетного множинного доступу з виключенням (EY-NMPA, Elimination Yield - Non-Preemptive Multiple Access). В разі застосування CSMA ефективність використання РЧР досягає 60 %.



Рис. 7.2. Проблема „прихованого” терміналу

Схема *Aloha з резервуванням*, яка застосовує метод множинного доступу з розподілом за запитом (DAMA, Demand Assigned Multiple Access) і реалізована в супутникових системах, ґрунтується на використанні принципу попереднього резервування кожною станцією часових інтервалів з метою проведення сеансу зв'язку із супутником. В разі вдалого резервування для певної земної станції (позитивного рішення щодо виділення такого інтервалу з боку системи управління супутником) жодна інша земна станція не може починати сеанс зв'язку протягом цього інтервалу часу. Таким чином, супутник збирає всі успішно надіслані запити і формує список черговості прав доступу в наступні інтервали часу, який надсилається до земних станцій. Для забезпечення підтримки роботи фіксованої схеми резервування час від часу робота всіх земних станцій синхронізуються. Схема DAMA відноситься до схем з явним резервуванням.

В схемі множинного доступу з резервуванням пакетів (PRMA, Packet Reservation

Multiply Access), яка відноситься до схем із прихованим резервуванням, виділені інтервали часу поділяються на кадри, що повторюються з часом. За результатами аналізу зайнятості базова станція інформує рухомі станції стосовно наявності вільних інтервалів часу, розподіл яких, у разі наявності запитів від абонентів, здійснюється на „конкурсній” основі.

Вирішенню проблем „прихованих” терміналів сприяє схема **Aloha** з динамічним резервуванням і випадковим доступом, яка ґрунтується на застосуванні методу множинного доступу із запобіганням конфліктів (MACA, Multiple Access with Collision Avoidance). За цією схемою на початку зв'язку термінал А надсилає сигнал готовності на передавання (RTS, Request To Send) (рис. 7.3, а), який через обмеженість зони обслуговування приймається терміналом В, але не приймається терміналом С. Термінал В, прийнявши цей сигнал, відправляє сигнал підтвердження готовності до приймання (CTS, Clear To Send) із зазначенням передавача і приймача та тривалості сеансу зв'язку, що забезпечує блокування роботи інших передавачів (рис. 7.3, б). Подібні схеми використовуються у стандарті IEEE

802.15.1 (Bluetooth) та як одна із можливих функцій у системах зв'язку стандарту IEEE 802.11.

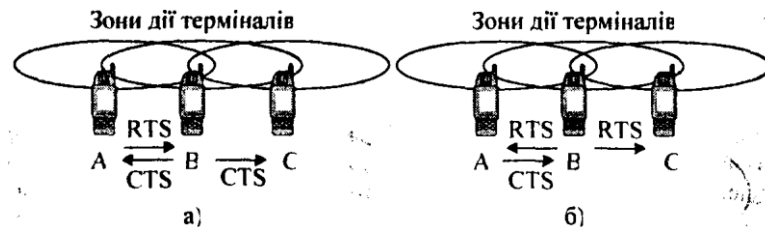


Рис. 7.3. Вирішення проблеми "прихованих терміналів\*" методом MACA

Проблема „прихованих” терміналів може виникати й під час передавання сигналу RTS у разі, якщо два термінали (А і С) направляють запит на передавання одночасно, хоча через надто малу тривалість сигналу RTS ймовірність виникнення такої ситуації незначна. Для розв'язання проблеми „відкритих” терміналів, коли термінал В зв'язується з терміналом А, а термінал С - з будь-яким іншим терміналом, у сигналі RTS терміналу В міститься інформація стосовно передавача та приймача сеансу зв'язку. У цьому разі термінал С визначає стан середовища як зайняте й затримує свій сеанс зв'язку.

Метод множинного доступу з цифровим детектуванням (DSMA, Digital Sense Multiple Access), який іноді називають методом множинного доступу з детектуванням подавлення (ISMA, Inhibit Sense Multiple Access), застосовує повідомлення рухомих станцій базовою станцією стосовно зайнятості каналу (або телекомунікаційної мережі). Така схема використовується службою передавання пакетів цифрових даних (CDPD, Cellular Digital Packet Data) у системах аналогового рухомого зв'язку AMPS.

Моніторинг радіочастотного спектра мереж РЕЗ, які використовують метод TDM, зокрема, базових станцій, може бути реалізований класичними методами у всій смузі частот, виділеній для РЕЗ певного класу, аналогічно як для систем, що застосовують методи SDM та FDM. Виявлення абонентських станцій проводиться за результатами тривалого спостереження та аналізу випромінювань з метою ідентифікації певного передавача за критерієм його роботи у визначені інтервали часу. Технічний радіоконтроль може бути реалізований шляхом застосування рухомих і портативних засобів.

**Ущільнення з кодовим розділенням (Code Division Multiplexing, CDM)**

ґрунтується на тимчасовому призначенні кожному каналу (кожному РЕЗ, абоненту) свого автентичного коду, що забезпечує можливість вибіркової адресації і дозволяє великій кількості користувачів, розташованих в одній зоні, використовувати одні й ті ж смуги радіочастот, не створюючи радіозавад один одному (рис. 7.1, д). З фізичної точки зору використання методу CDM базується на застосуванні принципу ортогональності кодів, тобто високого рівня автокореляції коду та низького рівня кореляції кодів (або одного й того ж коду) навіть за невеликих відхилень фази. Найпростішою реалізацією методу CDM є схема множинного доступу з розширенням, яка реалізована за принципом Aloha (SAMA, Spread Aloha Multiple Access), і представляє собою комбінацію схем CDMA і TDMA. Особливістю зазначеної схеми, в якій кілька передавачів синхронізуються й працюють на одній частоті та використовують один код, є застосування сигналів із розширеним спектром, що забезпечує можливість їхнього розділення (після стиснення) на приймальній стороні за рахунок різниці фаз чіпових послідовностей. Найпоширенішим застосуванням методу CDM є метод множинного доступу з кодовим розділенням (CDMA, Code Division Multiple Access), який реалізований у системах зв'язку UMTS і cdma2000, та набув поширеного використання в системах супутникового зв'язку Ellipso та Omnitrac. Застосування методу CDMA для систем стільникового зв'язку має декілька переваг над іншими методами (FDMA та TDMA), зокрема:

1) Частотне рознесення. Завдяки розташуванню сигналів, що передаються в широкій смузі частот, спотворення передавання сигналів на певній частоті (наприклад, через вплив шуму або селективне завмирання) у меншій мірі впливає на сам сигнал.

2) Зменшення негативних ефектів багатопроменевого поширення. Окрім здатності сигналів DSSS, які використовуються в CDMA, протидіяти багатопроменевому поширенню за рахунок частотного рознесення, коди, що застосовуються для CDMA, мають дуже низький рівень кореляції. Тому сигнал, що надходить із затримкою більшою, ніж тривалість одного елементарного інтервалу, не схильний до інтерференції з домінуючим сигналом, як це має місце в інших середовищах багатопроменевого поширення.

3) Конфіденційність. Завдяки тому, що розширений спектр створюється шляхом застосування шумоподібних сигналів, коли кожному користувачу надається „власний” код, такій схемі властива конфіденційність.

4) Поступове зниження ефективності функціонування системи. На відміну від систем, що базуються на застосуванні методів FDMA або TDMA, за яких до мережі може одночасно звертатися лише фіксована (обмежена) кількість користувачів, у разі використання CDMA і збільшення при цьому кількості користувачів, які отримали одночасний доступ до мережі, одночасно підвищується й рівень шумів, що призводить до росту частоти появи помилок. Таким чином, система наближається до моменту появи неприпустимої якості зв'язку поступово.

До основних недоліків методу CDMA відносяться:

1) У разі неточної синхронізації роботи терміналів рухомих користувачів, сигнали, що надходять від різних абонентів, не будуть точно вирівняні відносно границь кодів. У результаті чого сигнали, в яких використані різні розширені послідовності, не будуть ортогональними, що може призвести до появи деякої взаємної кореляції між ними. Це принципово відрізняє даний метод від методів

FDMA і TDMA, в яких присутні захисні часові або частотні інтервали, що забезпечує, хоча б наближену, ортогональність.

2) Проблема розташування. Сигнали, що надходять від ближчих до базової станції мобільних терміналів, затухають менше, ніж сигнали, що надходять від віддалених абонентів. У разі відсутності будь-якої ортогональності передані дані з віддаленого мобільного терміналу дуже важко відновити. Тому в системах, які базуються на застосуванні методу CDMA, використовується регулювання рівня потужності радіовипромінювання.

3) М'яке переключення. Для забезпечення плавного переключення обслуговування мобільного терміналу від однієї базової станції до іншої потрібне попереднє встановлення зв'язку з цією базовою станцією без припинення зв'язку з першою станцією (так звана "м'яка естафетна передача" або "м'який хендовер", *soft handover*).

Технічний радіоконтроль параметрів РЕЗ, які базуються на використанні методу CDM, може бути реалізований класичними способами шляхом застосування рухомих або портативних засобів ефірного радіоконтролю, але при цьому ідентифікація абонентських станцій за кодом неможлива.

Ще один метод ущільнення ґрунтується на застосуванні **розділення каналів за поляризацією** (PDMA, Polarization Division Multiple Access), для чого використовуються сигнали двох ортогональних поляризацій, наприклад, з вертикальною та горизонтальною або із круговими, які мають протилежні напрямки обертання. Тому метод PDMA дозволяє розділити за поляризацією не більше двох каналів (у загальному випадку з не ортогональними сигналами) за рахунок застосування адаптивних методів поляризаційного оброблення.

### **Порівняння методів SDMA, FDMA, TDMA та CDMA.**

Вище були наведені основні принципи, на яких ґрунтується застосування різних методів доступу до середовища передавання даних (телекомунікаційних мереж). Проте на практиці в реальних системах ці методи завжди використовуються в комбінаціях один з одним. Результати порівнювального аналізу механізмів застосування методів SDMA, TDMA, FDMA та CDMA наведені в табл. 7.1.

Найважливіше обмеження застосування методу FDMA - це неможливість обслуговування кількості абонентських станцій більшої, ніж  $N_{FDMA}$  (відповідно до формули (7.1)). У разі застосування комбінованого частотно-часового способу (з виділенням кожному абоненту смуги частот в обмежений інтервал часу  $T_k$  із захисним інтервалом  $T_3$ ) загальна кількість абонентів мережі зв'язку TDMA, які можуть бути обслужені протягом часу  $T$ , визначається виразом

$$N_{TDMA} = T / (T_k + T_3). \quad (7.2)$$

На рис. 7.1, є зображений умовний розподіл каналів у разі спільного застосування методів ущільнення FDMA і TDMA. До однієї з типових відноситься комбінація SDMA/FDMA/TDMA, яка набула поширеного використання в системах рухомого зв'язку IS-54, GSM, DECT, PHS, PACS, Iridium, ICO. Об'єднана схема на базі застосування SDMA і CDMA реалізована в системах Globalstar та IS-95. Кожна з розглянутих схем має свої переваги та недоліки.

Схема CSMA ефективна в разі малого завантаження.

Таблиця 7.1 - Порівняння механізмів застосування методів SDMA, TDMA, FDMA та CDMA

Критері	SDMA	TDMA	FDMA	CDMA
Основний принцип	Розділення простору на стільники, сектори	Розділення часу передавання на інтервали, які не перекриваються	Розділення смуги частот на підсмуги, які не перекриваються	Розширення спектра з використанням ортогональних кодів
Термінали	В одному стільнику (секторі) активний лише один термінал	Усі термінали використовують одну частоту протягом коротких інтервалів часу	Кожен термінал працює на власній частоті, не заважаючи іншим	Усі термінали працюють одночасно без взаємного впливу
Розділення сигналів	Застосування окремих стільників і напрямлених	Потрібна часова синхронізація	Фільтрування частот	Застосування кодів та спеціальних приймачів
Переваги	Проста схема з можливістю збільшення кількості абонентів	Гнучка цифрова схема	Проста і стійка до впливу завад схема	Гнучка схема, не потребує планування, спрощене переключення базових станцій
Недоліки	Недостатньо гнучка схема. Необхідні фіксовані	Потрібні захисні інтервали. Трудність синхронізації	Недостатня гнучкість. Обмежений частотний	Складні приймачі. Потрібен контроль
Примітки	Схема ефективна лише в комбінації зі схемами TDMA, FDMA або CDMA	Стандартна схема для стаціонарних мереж, для мобільних використовується з комбінацією FDMA/SDMA	Поєднується зі схемами TDMA (схема FHSS) та SDMA	Складність реалізації. Інтегрується зі схемами TDMA/FDMA

Схема МАСА вирішує проблему „прихованих” терміналів, а схема з опитуванням забезпечує фіксовану пропускну здатність. У стандарті IEEE 802.11 поєднані всі три схеми.

Схема CDMA порівняно з іншими має значні переваги з точки зору переключення та плавної зміни ємності стільників, а в поєднанні з методами FDMA та TDMA може використовуватися з метою збільшення ємності стільників. Гнучка ємність систем, які базуються на застосуванні методу CDMA, означає, що в разі поступового збільшення кількості абонентів у певному стільнику жорсткого обмеження щодо їхньої кількості не існує (у системах, які базуються на застосуванні методів FDMA та TDMA, таке обмеження є - в разі відсутності в системі вільних часових інтервалів або частот доступ абонентів до системи припиняється). В системах, побудованих на базі CDMA в разі підключення нового абонента розміри стільника зменшуються, що призводить до зростання рівня шуму, але при цьому абоненту надається доступ до мережі.

## 7.2 Методи розширення спектра

Розширення спектра представляє собою метод модуляції, за яким [112]:

- ширина спектра сигналу, що передається, значно більша за мінімальну ширину спектра, яка фактично потрібна для передавання даних;
- метод розширення спектра не залежить від методу модуляції даних.

Найпоширенішого застосування набули 3 різновиди розширення спектра, які описані в Рекомендації ITU-R SM.1055 [113] та в [111, 112], а саме:

- з використанням прямої послідовності;
- зі стрибкоподібною зміною частоти;



- з поєднанням зазначених вище методів прямої послідовності та стрибкоподібної зміни частоти (FH/DS, Frequency Hopping/Direct Spread).

**Розширення спектра з використанням прямої послідовності (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum).** В схемі з прямим розширенням спектра сигнал даних на передавальній стороні (наприклад, базової чи абонентської станції) скремблюється псевдовипадковою послідовністю імпульсів, яка призначена певному користувачу, для розширення спектра сигналу із заданою швидкістю чіп-кодування та завадозахищеності.

Розподіл спектра випромінювання (CW, Continuous Wave) сигналу DSSS з часом проілюстрований рис. 7.4. Уважається, що за результатом застосування такої процедури кожен біт сигналу буде розширений на всю ширину смуги частот радіоканалу.

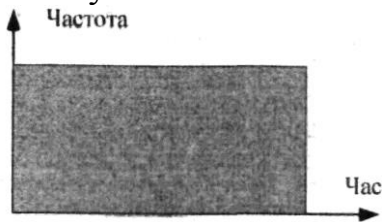


Рис. 7.4. Розподіл спектра випромінювання сигналу DSSS з часом

В разі застосування цього методу сигнал представляє собою безперервну модульовану за фазою комбінацію даних і розширювального коду. В приймачі вихідний сигнал виділяється за допомогою використання такої же розширювальної послідовності. Коефіцієнт повторного використання частот за методом DSSS дорівнює одиниці. Послідовність процесу модуляції сигналу із застосуванням методу DSSS наведена на рис. 7.5.

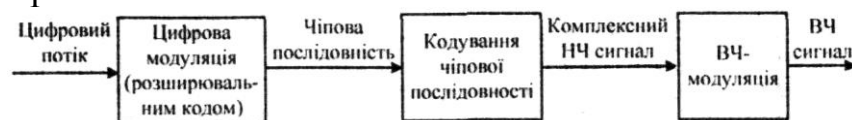


Рис. 7.5. Порядок модуляції сигналу за методом DSSS

На першому етапі кожен біт інформації вихідного потоку даних модулюється розширювальним кодом. Така процедура називається цифровою модуляцією або модуляцією цифрового потоку (яку не треба путати з модуляцією цифрових сигналів). Далі чіпова послідовність двополярних імпульсів кодується із застосуванням одного з видів модуляції, в результаті чого формується комплексний НЧ сигнал зі своєю амплітудою та фазою. На останньому етапі здійснюється ВЧ модуляція комплексного НЧ сигналу із застосуванням методу DSSS, під час якого спектр сигналу переноситься до області ВЧ.

Цифрова модуляція, тобто модуляція розширювальним кодом, здійснюється шляхом додавання за модулем 2 псевдовипадкової бінарної (двійкової) послідовності (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence) до бінарного потоку даних. На практиці розширювальна послідовність PRBS може бути представлена послідовністю прямокутних імпульсів або імпульсів іншої форми. При цьому ширина спектра сигналу та чіпова швидкість будуть різними. Рис. 7.6 ілюструє процес модулювання потоку даних  $D(t)$ , представленого чотирма бітами інформації, розширювальною послідовністю  $U_{PRBS}(t)$  у вигляді 11-ти позиційного коду Баркера (як це реалізовано в стандарті IEEE 802.11b/g). Вихідний потік даних представляє собою послідовність імпульсів (бітів) тривалістю  $T_{им}$  кожний, які надходять з періодом  $T_{II} = T_{им}$ .

Обвідна спектра імпульсу з прямокутною формою описується функцією  $| \sin$

$(x)/x$  |, ширина спектра  $\Delta f_D$  (за нульовим рівнем) дорівнює

$$\Delta f_D = 2/T_{II} = 2/T_{имп} \quad (7.3)$$

Розширювальна послідовність PRBS (яка також називається розширювальним кодом) складається з нефільтрованих „парціальних" прямокутних імпульсів тривалістю  $\tau_{чин}$ , що надходять з чіповою швидкістю (тактовою частотою)  $R_{чин}$  яка визначається за формулою

$$R_{чин} = 1/\tau_{чин} \quad (7.4)$$

Обвідна спектра елементарного сигналу розширювальної послідовності також описується функцією  $|\sin(x)/x|$ , але в цьому разі ширина його спектра

$\Delta f_{PRBS}$  (за нульовим рівнем) визначається тривалістю  $\tau_{чин}$  (рис. 7.7, б)

(7.5)

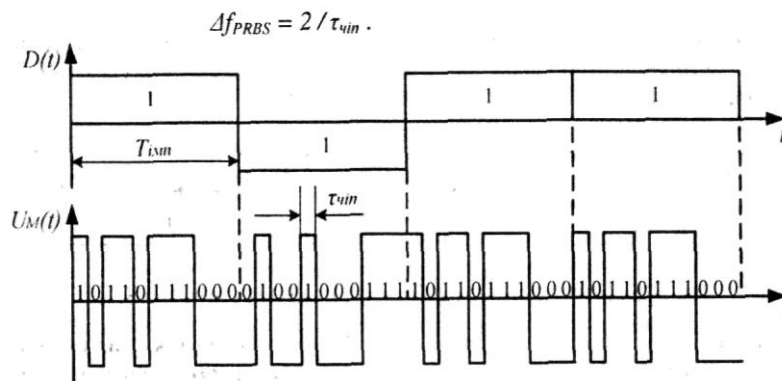


Рис. 7.6. Модуляція цифрового потоку розширювальним кодом

Спектр імпульсу з прямокутною обвідною (рис. 7.7, а) зображений на рис. 7.7,

б.

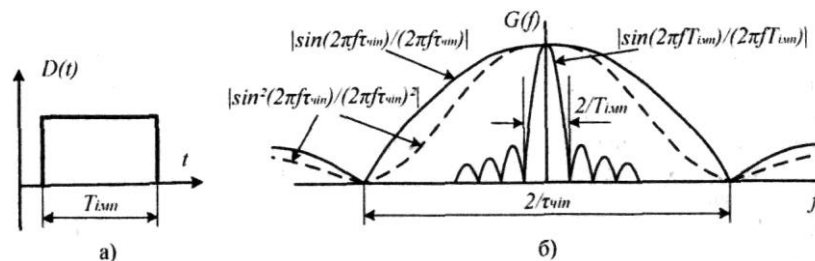


Рис. 7.7. Спектри відеоімпульсів DSSS

Таким чином, загальна потужність сигналу, що випромінюється, не зменшується, проте в  $T_{имп}/\tau_{чин}$  разів зменшується щільність потужності випромінювання на кожній частоті та в стільки ж разів збільшується ширина спектра сигналу, що випромінюється, тобто потужність рівномірно розподіляється у смузі  $\Delta f_{PRBS} \gg \Delta f_D$ . Відношення  $S = T_{имп}/\tau_{чин}$  називається коефіцієнтом розширення. Обвідна спектра результуючого сигналу  $U_M(t)$  описується функцією  $\sin^2(x)/x^2$ , що забезпечує зниження рівня бічних пелюсток (зокрема, рівень першої бічної пелюстки зменшується від мінус 7 дБ до мінус 13,5 дБ).

Для звуження спектра сигналу форма парціального імпульсу розширювального коду PRBS згладжується, наприклад, за рахунок використання імпульсів, обвідна яких описується законом кореня другого ступеня з „косинуса на підставці" або гаусівського імпульсу (загальновідомо, що форма спектра сигналу визначається формою його обвідної, тому часто для зниження рівня позасмугових випромінювань (рівня бічних пелюсток спектра сигналу) обвідну сигналу

згладжують). Форми обвідних спектрів деяких найпоширеніших сигналів наведені в Додатку Д.

В разі використання імпульсів, форма яких згладжена, тактова частота  $R_{\text{чип}}$  не змінюється, проте зменшується ширина спектра сигналу. Сигнал, модульований такою послідовністю має найоптимальніший (з точки зору ефективності використання) спектр сигналу, оскільки в ньому практично відсутні бічні пелюстки. При цьому ширина спектра модульованого сигналу незначно перевищує чіпову швидкість  $R_{\text{чип}}$  що дорівнює половині ширини спектра, яка потрібна в разі використання прямокутної послідовності імпульсів.

Після цифрової модуляції результуюча послідовність двополярних імпульсів групується на двійки, трійки або четвірки чіпів, які використовуються для формування комплексного НЧ сигналу. Для модуляції несучої частоти комплексного НЧ сигналу як різновид може застосовуватися схема, в якій дані (комплексний НЧ сигнал) модулює ВЧ колювання в одному модуляторі, а розширювальна послідовність PRBS - у другому.

На практиці застосовуються такі форми модуляції [10, 111, 112]:

- бінарна фазова маніпуляція (BPSK, Binary Phase Shift Keying);
- квадратурна фазова маніпуляція (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying);
- квадратурна амплітудна модуляція (QAM, Quadrature Amplitude Modulation);
- різновиди відносної квадратурної фазової маніпуляції (DQPSK, Differential Quadrature Phase Shift Keying;  $\pi/4$ -shift DQPSK,  $7\pi/4$ -Differential Quadrature Phase Shift Keying);

-модуляція комплементарним кодом (ССК, Complementary Code Keying).

Процедура формування комплексного НЧ сигналу розглядається нижче.

Властивості сигналу DSSS можуть бути описані такими його параметрами й характеристиками:

- несуча частота  $f_c$ ;
- чіпова швидкість  $R_{\text{чип}}$
- ширина спектра частот сигналу, що передається,  $\Delta f$
- кількість користувачів у смузі частот;
- тип модуляції;
- миттєва потужність сигналу, що приймається;
- кут надходження сигналу (пеленг).

Перші два параметри (несуча частота  $f_c$  і чіпова швидкість  $R_{\text{чип}}$ ) є основними (ширина спектра сигналу  $\Delta f = 2R_{\text{чип}}$ ). Несуча частота подавляється у процесі розширення спектра, але для сигналу з модуляцією BPSK може бути відтворена шляхом оброблення прийнятого сигналу за квадратичним законом  $U_M^2(t)$ , що призводить до появи вираженого спектрального складника сигналу  $U_M(t)$  на частоті, значення якої дорівнює подвоєному значенню несучої частоти. Для сигналу з модуляцією QPSK несуча частота може бути отримана зі спектра сигналу  $U_M^4(t)$  як частота, учетверо більша, ніж несуча частота вихідного сигналу.

Чіпова швидкість  $R_{\text{чип}}$  може бути оцінена, виходячи зі значення ширини смуги частот  $\Delta f$  сигналу  $U_M(t)$ , яка приблизно дорівнює половині ширини спектра між двома найближчими нулями спектра  $\Delta f_0$  а саме

$$R_{\text{чип}} \approx \Delta f_0 / 2 \quad (7.6)$$

У зв'язку з надто низьким рівнем сигналів DSSS вони для звичайних РПП під час приймання представляють широкосмугову радіозаваду, тому для виявлення й

оброблення таких сигналів потрібне використання фазо-когерентної багатоканальної широкопasmової цифрової системи виявлення та оброблення, наприклад, із застосуванням процедури комплексної крос-поляризації для двох каналів. Для отримання більш-менш достовірних результатів необхідне проведення спостережень за сигналами протягом тривалих інтервалів часу (кількох секунд), накопичення та збереження цих безперервних вибірок.

З урахуванням зазначеного моніторинг спектра сигналів DSSS може вважатися недоцільним.

**Розширення спектра з використанням стрибкоподібної зміни частоти (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum)** порівняно з методом DSSS забезпечує отримання ширшої смуги частот [111].

Сигнали FHSS формуються шляхом стрибкоподібної зміни несучої частоти частотно маніпульованого, частотно модульованого або амплітудно модульованого сигналу, який випромінюється протягом певного інтервалу часу  $T$ , згідно із задалегідь обумовленим законом. Розподіл спектра сигналу FHSS з часом проілюстрований рис. 7.8.

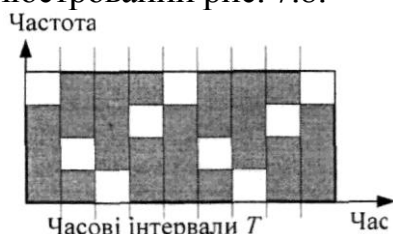


Рис. 7.8. Розподіл спектра сигналу FHSS з часом

При цьому загальна ширина спектра сигналу FHSS складається з повного діапазону змін частоти сигналу та ширини смуги вхідного сигналу. Середній за часом спектр сигналу FHSS представляє собою набір спектрів модульованого сигналу, які зсунуті один відносно другого на мінімальне значення зміни (стрибок) частоти. Величина цього стрибка приблизно дорівнює ширині смуги модульованого сигналу. Час, протягом якого використовується канал із певною частотою, називається *часом перебування*. У більшості випадків передавання сигналу FHSS припиняється на час зміни частоти.

Послідовність перестроювання частоти повинна відповідати таким вимогам:

- частота стрибків повинна бути не меншою, ніж 2,5 рази за секунду;
- стрибки повинні відбуватися як мінімум між шістьма каналами.

У разі використання розширення спектра за методом FHSS уся відведена для передавання смуга частот розділяється на підканали (за стандартом IEEE.802.11 їх повинно бути 79). Для мінімізації кількості колізій між зонами покриття, що перекриваються, існують три набори послідовностей змін частоти (стрибків), довжина яких у США та більшості країн Європи складає 26 частот. Схема стрибкоподібної зміни частоти FHSS (для країн Північної Америки і Європи) наведена в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 - Схема стрибкоподібної зміни частоти FHSS

Набір	Номери частот
1	{0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 63, 66, 69, 72, 75}
2	{1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70, 73, 76}
3	{2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 53, 56, 59, 62, 65, 68, 71, 74, 77}

Кожен біт інформації модулюється за заданим законом, після чого модульований сигнал випромінюється. В кожен момент часу кожен передавач використовує лише один із підканалів, „перестрибуючи” з одного підканалу на інший через визначені інтервали часу, тривалість яких не перевищує 20 мс. Зміна частоти здійснюється синхронно в передавачі та приймачі в заздалегідь зазначеній псевдовипадковій послідовності. Інша пара „передавач-приймач” використовує іншу послідовність стрибкоподібної зміни частоти.

В сучасних системах зв'язку використовуються два види стрибкоподібної зміни несучої частоти: повільна та швидка. Під час повільної зміни частоти передавач використовує одну й ту ж частоту для передавання кількох бітів. Такі системи дешевші, порівняно із системами зі швидкою зміною частоти, але вони більше піддані впливу вузькосмугових радіозавад. Повільна зміна частоти використовується в системах GSM. У системах зі швидкою зміною частоти передавач декілька разів змінює частоту протягом тривалості одного біту. Технічна реалізація таких систем складніша, але вони стійкіші до впливу вузькосмугових радіозавад і частотно-вибіркового затухання. Характерним прикладом системи FHSS є радіотехнологія Bluetooth, за якою виконується 1600 змін частоти за секунду.

Порівняно з методом DSSS метод FHSS простіший з точки зору технічної реалізації та завадостійкіший, але забезпечує меншу відстань зв'язку. З іншого боку, системи DSSS стійкіші до затухань та ефектів багатопроменевого поширення.

Властивості сигналу FHSS можуть бути описані такими його параметрами й характеристиками:

- повна ширина смуги змін частоти;
- модуляція основного сигналу;
- мінімальне рознесення між сусідніми несучими частотами;
- миттєва потужність сигналу, що приймається;
- швидкість зміни частоти та фаза зміни частоти;
- кут надходження сигналу (пеленг).

Найважливішими параметрами є два значення ширини смуги частот: миттєва ширина смуги частоти для окремого стрибка і повна ширина смуги змін частоти.

Найпривабливішим способом виявлення та оброблення сигналів FHSS є використання системи широкосмугового приймання сигналів та їх оброблення. Сигнал FHSS може бути виділений за допомогою АМ детектора. При цьому формується потік імпульсів, який може бути використаний для вимірювання швидкості зміни частот і синхронізації послідовності зміни частоти.

Радіопеленгування джерела сигналу FHSS, в принципі, може бути виконано під час кожної дискретної зміни частоти сигналу з наступною інтеграцією лінії пеленгу з метою підвищення точності пеленгування. Для сигналів із малою швидкістю зміни

частоти (з періодом більше ніж 50 мс на „стрибок“) цей процес може бути виконаний звичайними методами цифрового оброблення сигналів із використанням вузькосмугового радіопеленгаційного обладнання. При цьому вимірювання проводяться під час появи сигналу на одній із дискретних частот протягом інтервалу часу однієї зміни частоти. Але, на практиці, в разі використання вузькосмугового радіопеленгаційного обладнання така процедура значно складніша і в більшості випадків її реалізація утруднена.

Для виявлення сигналів із великими швидкостями змін частоти (з періодом менше 10 мс на стрибок) необхідне застосування ширококугових цифрових систем приймання та оброблення сигналів і досконаліші алгоритми.

### 7.3 Методи модуляції

Метою процесу модуляції є перенесення спектра вихідного сигналу до діапазону вищих частот. Модульовальний сигнал може змінювати амплітуду, частоту або фазу безперервного сигналу несучої частоти окремо, або кілька параметрів одночасно та бути аналоговим і цифровим.

Найпростішими видами аналогової модуляції, які знайшли застосування в традиційних радіотехнологіях і системах зв'язку, є:

- амплітудна модуляція (АМ, Amplitude Modulation);
- фазова модуляція (ФМ; РМ, Phase Modulation);
- частотна модуляція (ЧМ; FM, Frequency Modulation).

**Амплітудна модуляція** може бути визначена як зміна амплітуди несучої частоти за законом зміни рівня модульовального сигналу. Графік АМ колювання зображений на рис. 7.9. а.

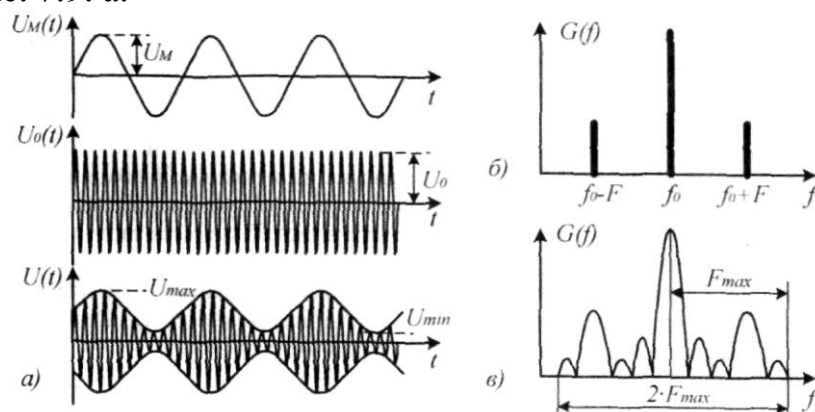


Рис. 7.9. Часовий графік і спектр АМ сигналу

Для гармонійного модульовального колювання аналітичний вираз функціональної залежності з часом  $t$  АМ сигналу  $U(t)$  має вигляд

$$U(t) = U_0 [1 + m \cos(\Omega t + \psi)] \times \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (7.7)$$

де  $U_0, \omega_0 = 2\pi f_0, \varphi_0$  - амплітуда, кутова частота і початкова фаза сигналу несучої частоти відповідно;

$m$  - коефіцієнт (глибина) амплітудної модуляції;

$\Omega = 2\pi f$  - початкова фаза модульовального колювання з частотою  $F$ ;

$\psi$  - кутова частота модульовального колювання.

Після перетворення (для спрощення початкові фази не враховані) вираз може бути представлений у виді

$$U(t) = U_0 \left[ \cos \omega_0 t + \frac{m}{2} \cos (\omega_0 + \Omega)t + \frac{m}{2} \cos (\omega_0 - \Omega)t \right]. \quad (7.8)$$

Таким чином, у спектрі модульованого сигналу крім коливання несучої частоти містяться два бічних складники з амплітудою, пропорційною коефіцієнту модуляції  $m$  та з частотами віднесеними від несучої частоти  $f_0$  на величину  $F$ . Спектр АМ сигналу зображений на рис. 7.9, б. Ширина спектра  $\Delta f$  АМ сигналу дорівнює  $\Delta f = 2F$ .

У разі застосування складного модульовального сигналу (наприклад, мовного сигналу в діапазоні КХ) у спектрі модульованого сигналу окрім несучої частоти присутні дві бічні смуги частот (рис. 7.9, в). Ширина спектра частот у цьому разі визначається як подвоєне значення максимальної частоти  $F_{max}$  спектра модульовального сигналу, тобто  $\Delta f = 2F_{max}$ .

Потужність АМ коливання залежить від глибини модуляції  $m$ . Глибина модуляції визначається виразом

$$m = (U_{max} - U_{min}) / (U_{max} + U_{min}), \quad (7.9)$$

або у відсотках

$$m = [(U_{max} - U_{min}) / (U_{max} + U_{min})] 100\%, \quad (7.10)$$

де  $U_{max}$  і  $U_{min}$  - відповідно максимальна та мінімальна амплітуда обвідної модульованого коливання.

Потужність коливання на несучій частоті незмінна й пропорційна значенню  $U_0^2/2$ . Загальна потужність сигналів у кожній бічній смузі пропорційна величині  $m^2 U_0^2/8$ . На практиці для зменшення ймовірності „перемодуляції“ для пікових значень модульовальної функції глибина модуляції не повинна бути більшою 0,5.

Для збільшення ефективності АМ та економії смуги частот може передаватися не весь спектр сигналу, а лише його одна бічна смуга. При цьому інша бічна смуга частот і несуча частота подавляються.

Розрізняють такі різновиди АМ:

- двосмугова АМ (DSB, Double Sideband);
- двосмугова АМ із подавленою несучою частотою (DSBSC, Double Sideband Suppressed Carrier);
- односмугова АМ (SSB, Single Sideband);
- односмугова АМ із подавленою несучою частотою (SSBSC, Single Sideband Suppressed Carrier) і наявною нижньою чи верхньою смугою (LSB, Lower Sideband або USB, Upper Sideband);
- АМ із частково подавленою однією бічною смугою (VSB, Vestigial Sideband);
- АМ із двома незалежними бічними смугами (ISSB, Independent Single Sideband).

Амплітудна модуляція знайшла поширене застосування у звуковому й телевізійному мовленні. Причому в діапазонах ДХ і СХ використовується двосмугова АМ, у діапазонах КХ і УКХ - односмугова АМ, у діапазоні УКХ в системах телевізійного мовлення для передавання сигналів зображення -АМ з однією частково подавленою бічною смугою частот.

Через низьку ефективність використання спектра в разі застосування АМ потужність передавачів досить велика, що дозволяє використовувати для приймання АМ сигналів РПП із простими схемами та низькою чутливістю. З точки зору радіомоніторингу високі рівні напруженості поля радіоколивань у діапазоні КХ сприяють виявленню сигналів і дозволяють використовувати простіші методи для

інструментального оцінювання їхніх параметрів.

**Частотна модуляція (ЧМ)** є окремим випадком кутової модуляції. При цьому параметром, що змінюється за законом модульовального колювання, є несуча частота, значення якої пропорційне рівню модульовального сигналу.

Для гармонійного модульовального колювання миттєва частота  $\omega(t)$  визначається з виразу

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \psi), \quad (7.11)$$

де  $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$  - девіація частоти (амплітуда відхилення несучої частоти від номінального значення).

Часовий графік ЧМ сигналу та його спектр зображені на рис. 7.10.

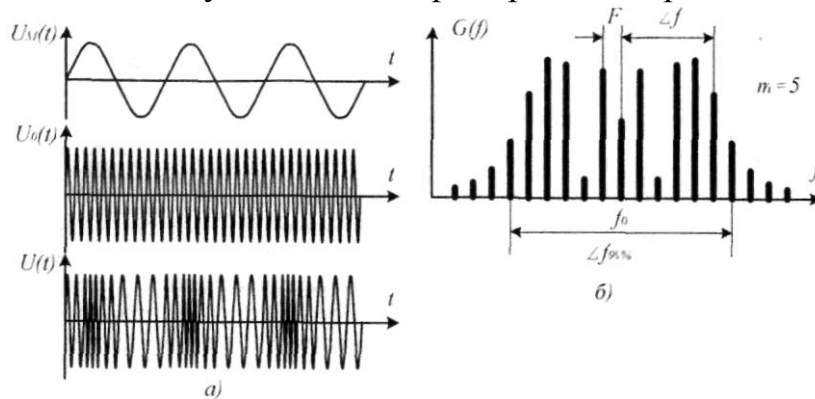


Рис. 7.10. Часовий графік і спектр ЧМ сигналу В аналітичній формі ЧМ сигнал записується у виді

(7.12)

$$U(t) = U_0 \cos\{\omega_0 + m \sin(\Omega \cdot t + \psi)\} t + \phi_0\},$$

де  $m = \Delta\omega / \Omega$  - індекс ЧМ.

Розрізняють ЧМ широкосмугову ( $m \gg 1, \Delta\omega \gg \Omega$ ) і вузькосмугову ( $m \leq 1, \Delta\omega \leq \Omega$ ). У першому випадку, як правило, враховують складники спектра з номерами  $n < m + 1$ , що відповідає ширині спектра ЧМ колювання для гармонійного колювання, в якій зосереджено 99 % енергії сигналу:

(7.13)

$$\Delta f_{99\%} = 2(\Delta f + F) \approx 2\Delta f.$$

Для невеликих значень індексу ЧМ ( $1 \leq m \leq 2,5$ ) значення  $\Delta f_{99\%}$  розраховується за формулою

$$\Delta f_{99\%} = 2F(1 + m + \sqrt{m}).$$

(7.14)

Для значень  $m \ll 1$  можна вважати, що у спектрі такого сигналу присутні лише складники, що відповідають несучій частоті та двом бічним компонентам, які відстоять від неї на частоту  $F$ , але, на відміну від АМ, одна з них має фазовий зсув на  $\pi$ .

ЧМ застосовується, в основному, в діапазонах метрових та коротших хвиль. Вузькосмугова ЧМ (NFM, Narrow Frequency Modulation) використовується в системах рухомого зв'язку, широкосмугова (WFM, Wide Frequency Modulation) - у звуковому та телевізійному мовленні. ЧМ з індексом  $m \approx 2$  застосовується в системах аналогового радіорелейного і супутникового зв'язку. Лінійна ЧМ набула поширеного використання в радіолокації з метою збільшення дальності виявлення та підвищення розрізнявальної здатності за дальністю.

Методи виявлення та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювань у значній мірі залежать від типу ЧМ сигналів.



**Фазова модуляція (ФМ)** також являється окремим випадком кутової модуляції, за якої параметром, що змінюється за законом модулювального колювання, є фаза. Для гармонійного (синусоїдального) модулювального колювання аналітичне представлення ФМ сигналу має вигляд

(7.15)

$$U(t) = A_0 \cos [\omega_0 t + \Delta\varphi \cdot \sin (\Omega t + \psi) + \varphi_0 ],$$

де  $\Delta\varphi$  - амплітуда відхилення (девіація) частоти.

Спектри ФМ і ЧМ сигналів (у разі однакових індексів модуляції") практично не відрізняються, тому для розрахунків спектра ФМ сигналу з досить значними індексами модуляції можна користуватися формулами, призначеними для ЧМ сигналів. Ширина смуги частот для обох випадків модуляції сигналу визначається девіацією частоти. ФМ використовується, в основному, в системах радіонавігації.

Для цифрових (дискретних) сигналів застосовуються:

- амплітудна маніпуляція (АМн);
- частотна маніпуляція (ЧМн; FSK, Frequency Shift Keying);
- фазова маніпуляція (ФМн; PSK, Phase Shift Keying);
- амплітудно-фазова маніпуляція (АФМн; APSK, Amplitude-Phase Shift Keying).

**Амплітудна маніпуляція** характеризується вмиканням та вимиканням несучої частоти (ООК, On/Off Keying) у залежності від двійкового модулювального сигналу, тому колювання з АМн має вигляд послідовності радіоімпульсів (рис. 7.11, а), при цьому прямокутна обвідна повторює, за формою, бінарний модулювальний сигнал.

У разі, якщо амплітуда АМн колювання може приймати значення, які відмінні від нуля, застосовуються терміни ASK (Amplitude Shift Keying) для дворівневої маніпуляції та MASK (Multiple ASK) - для багаторівневої.

На інтервалі  $T$  елементарного імпульсу АМн сигнал описується множиною

$$U_i(t) = U_i \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (7.16)$$

де  $0 < t < T$  і амплітуда  $U_i$  може приймати  $M$  дискретних значень для  $i = 1, 2, \dots, M$ .

Спектр АМн сигналу представляє собою спектр послідовності бінарних сигналів, який перенесений на несучу частоту (рис. 7.11, б). Його ширина залежить від швидкості маніпуляції. Векторне представлення цифрових видів модуляції називається „сигнальним сузір'ям" (constellation diagram). Як правило, сусідні значення амплітуд відповідають інформаційним модулювальним комбінаціям, що різняться в одному розряді. Таке відображення називається **кодом Грея**. Під час демодуляції, коли найвірогіднішою є похибка з відхиленням від істинного значення на одну градацію, у прийнятій інформаційній комбінації виникає помилка лише в одному біті.

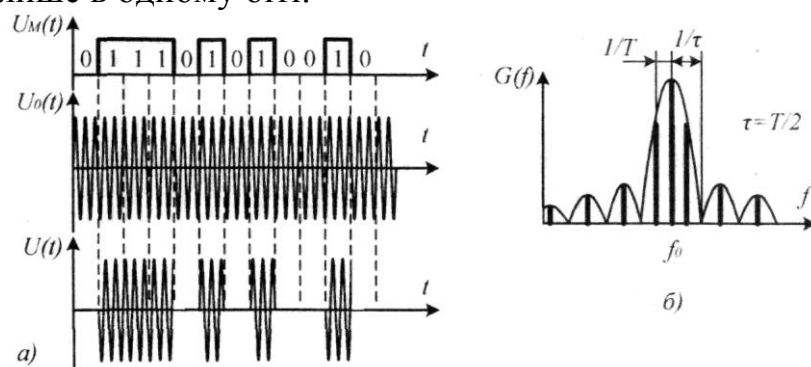


Рис. 7.11. Часовий графік і спектр АМн сигналу  
Сигнальне сузір'я АМн сигналу зображене на рис. 7.12.

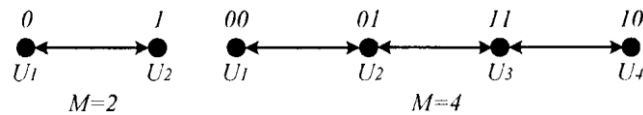


Рис. 7.12. Векторне представлення (сигнальне сузір'я) АМн сигналу

**Частотна маніпуляція** в найпростішому випадку характеризується використанням лише двох частот (які відповідають двом станам - натисненню та віджиманню). В разі збільшення кількості застосованих частот говорять про багаточастотну маніпуляцію (MFSK, Multiple FSK), яка дозволяє збільшити швидкість передавання символів. Часова діаграма та спектр ЧМн сигналу зображені нарис. 7.13.

Загальний аналітичний вираз ЧМн сигналу на інтервалі  $T$  має вигляд

$$S_i(t) = U_0 \cos(\omega_i t + \varphi_{0i}), \quad (7.17)$$

де  $\varphi_{0i}$  - початкова фаза  $i$ -того тону;

$i = 1, 2, \dots, M$  - номер частоти  $f_i$  ЧМн сигналу, що випромінюється на інтервалі елементарного імпульсу ( $0 < t < T$ );

$\omega_i = 2\pi f_i$  - кругова (циклічна) частота;

$U_0$  - амплітуда сигналу.

На практиці  $M$  дорівнює ступеню числа 2 (2, 4, 8, 16, ...).

Для зменшення ширини спектра ЧМн сигналу форма елементарних прямокутних імпульсів вихідної інформаційної послідовності згладжується шляхом їх фільтрування.

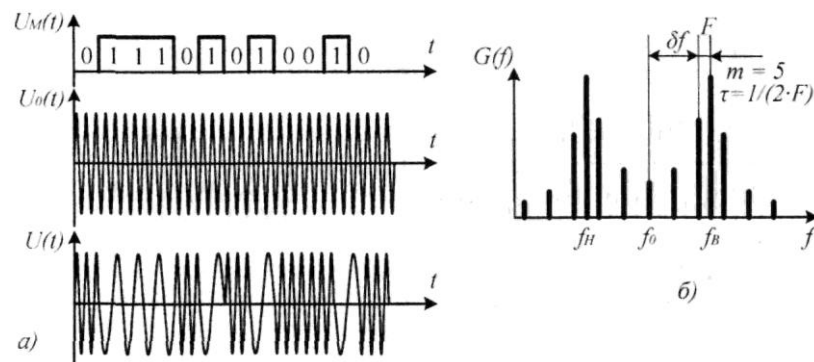


Рис. 7.13. Часова діаграма та спектр ЧМн сигналу

В разі використання фільтра з гаусівською амплітудно-частотною характеристикою мова йде про гаусівську ЧМн (GFSK, Gaussian FSK), за якої двійкова „1” представляється додатнім відхиленням від центральної частоти, а двійковий „0” - від'ємним відхиленням.

Такі сигнали використовуються в стандарті DECT, а також в пристроях Bluetooth (GFSK-2 з  $BT=0,5$ ). В останньому випадку мінімальне відхилення частоти становить 115 кГц.

Спектральна щільність потужності сигналу GFSK-2 зображена на рис. 7.14.

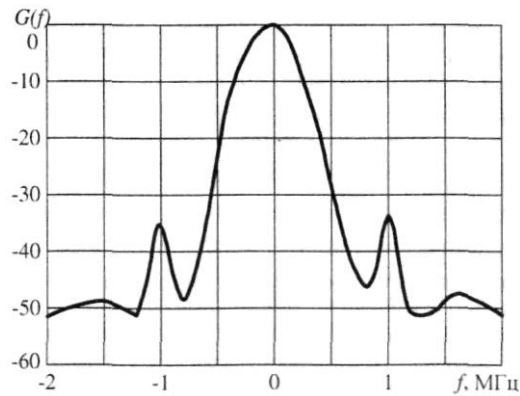


Рис. 7.14. Спектральна щільність потужності сигналу GFSK-2

Розрізняють ортогональні та неортогональні схеми ЧМн. Ортогональність сигнальної множини ЧМн сигналів зазначає їхню некорельованість на інтервалі  $T$  передавання символу, що досягається за мінімального рознесення за частотою, яке у випадку некогерентного детектування сигналів FSK для довільного значення початкової фази елементарних сигналів дорівнює

$$f_i - f_{i+1} = 1/T, \quad (7.18)$$

а в когерентних системах для відомої початкової фази становить

$$f_i - f_{i+1} = 1/(2T). \quad (7.19)$$

Ширину займаної смуги частот ЧМн сигналу в разі маніпуляції симетричними прямокутними імпульсами можна оцінити за формулами:

$$\Delta f = 2,6\delta f + 1,4B \text{ з точністю до } 2\% \text{ для } 2 \leq m \leq 8 \quad (7.20)$$

$$\Delta f = 2,2\delta f + 3,1B \text{ з точністю до } 2\% \text{ для } 8 \leq m \leq 20 \quad (7.21)$$

де  $\delta f$  - відхилення частоти, що дорівнює половині рознесення за частотою;

$B = 2F = 1/T$  - швидкість маніпуляції (в бодах);

$F = 1/(2T)$  - частота маніпуляції;

$M = \delta f / F$  - індекс модуляції.

У разі застосування  $M$  частот ширина спектра з урахуванням додаткового фільтрування модульованого сигналу для ортогональної некогерентної ЧМн (MFSK) визначається за формулою

$$\Delta f = M / T, \quad (7.22)$$

а для когерентної схеми становить

$$\Delta f = M / (2T). \quad (7.23)$$

Векторна діаграма ЧМн сигналу для  $M = 3$  зображена на рис. 7.15.

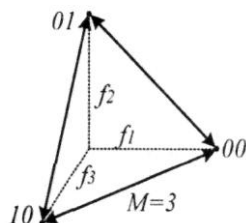


Рис. 7.15.

Векторна діаграма

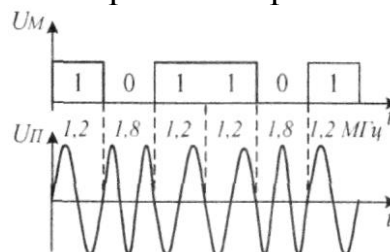


Рис. 7.16. Послідовність тональних посилок у стандарті стільникового зв'язку NMT-450

Окремим випадком ЧМн сигналів є сигнали без розривання фази під час переключення частоти (CPFSK, Continuous Phase FSK), які використовуються для передавання з високою швидкістю та забезпечують малу займану ширину смуги

частот, швидке спадання рівнів позасмугового випромінювання і постійний рівень обвідної спектра.

Наприклад, у стандарті стільникового зв'язку NMT-450 використовується швидка ЧМн (FFSK, Fast FSK) на піднесучій частоті зі швидкістю маніпуляції 1200 бод (рис. 7.16).

На інтервалі елементарного інформаційного імпульсу тривалістю  $\tau_i = 0,833$  мс передається один період колювання з частотою 1200 Гц (що відповідає одиничному рівню модульовальної послідовності чи, так званому, натисненню - Mark), або 1,5 періоду колювань з частотою 1800 Гц (відповідає віджиманню - Space). При цьому за час  $\tau_i$ , у першому випадку фаза колювання змінюється на  $2\pi$ , у другому - на  $3\pi/2$ . Тому для виконання умови безперервності фази наступна за інформаційною „1” послілка повинна мати таку ж початкову фазу, як і попередня послілка, а наступна за інформаційним „0” послілка повинна відрізнитися від попередньої послілки на  $\pi$ . Такий вид модуляції називають „модуляцією з пам'яттю”.

В радіомодемах використовуються й інші параметри FFSK на піднесу-чій частоті. Наприклад, частоти натиснення та віджимання можуть становити відповідно 1200 Гц та 2400 Гц для швидкості передавання 2400 бод, або 2400 Гц і 4800 Гц для швидкості 4800 бод. Але в цьому разі правило зміни фази буде протилежним.

Різновидом CPFSK є маніпуляція несучої частоти з мінімальним (частотним) зсувом (MSK, Minimum Shift Keying). Аналітичний вираз сигналу MSK має вигляд

$$U_k(t) = \cos \left[ 2 \cdot \pi \cdot \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) \cdot t + \varphi_k \right], \quad (7.24)$$

де  $f_0$  - несуча частота;

$dk = \pm 1$  представляє бінарну послідовність з тривалістю послілки  $T$ ;

$\varphi_k$  - фазова константа для  $k$ -ої послілки, яка дорівнює  $0$  або  $\pi$ ; при цьому  $kT < t < (k+1) T$ .

У разі, якщо  $dk = 1$ , то передається частота  $f_0 + 1/(4T)$ , якщо  $dk = -1$ , то частота  $f_0 - 1/(4T)$ , і рознесення частот становить  $2\Delta f = 1/(2T)$ , як для ортогональної когерентної схеми ЧМн, тобто мінімально можливе. При цьому індекс частотної модуляції  $m = 0,5$ .

Спектральна щільність потужності сигналу MSK

$$G(f) = \frac{16 \cdot P \cdot T}{\pi^2} \left( \frac{\cos 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T}{1 - 16 \cdot f^2 T^2} \right)^2 \quad \text{описується виразом} \quad (7.25)$$

де  $P$  - середня потужність модульованого сигналу.

Модуляція, під час якої застосовується вузькосмуговий гаусівський фільтр, який згладжує форму імпульсів модульовальної бінарної послідовності та звужує, таким чином, ширину спектра модульованого сигналу, називається гаусівською маніпуляцією з мінімальним зсувом (GMSK, Gaussian MSK). Така схема використовується в стандарті GSM.

В діапазоні КХ поширеного застосування знайшов метод частотної модуляції

з безперервною фазою (CPFSK, Continuous-Phase Frequency Shift Keying), який можна віднести до методів квадратурної фазової маніпуляції. В загальному вигляді сигнал CPFSK може бути описаний виразом

$$U(t) = AC(t)\cos \omega_0 t + BS(t)\sin \omega_0 t, \quad (7.26)$$

де  $A$  і  $B$  - маніпулюючі сигнали, які відображають кратні та не кратні значення символів відповідно (можуть приймати значення  $\pm 1$ );

$C(t) = \cos(\pi \cdot t / 2T)$  і  $S(t) = \sin(\pi \cdot t / 2T)$  - обвідні квадратурних складників сигналу.

Основні переваги сигналів CPFSK такі:

1) компактність спектра - 99 % енергії спектра припадає на смугу частот  $\Delta f$ , яка дорівнює  $\Delta f = 1,15\nu_m$  де  $\nu_m$  - швидкість передавання інформації;

2) низький рівень позасмугових випромінювань - рівень бічних пелюсток спектра спадає пропорційно  $(f - f_0)^{-4}$ , а для ФМн сигналів та кодофазоманіпульованих (КФМн) сигналів спадання пропорційне значенню  $(f - f_0)^{-2}$ ;

3) висока потенційна завадостійкість (для оптимального когерентного приймача дорівнює потенційній завадостійкості проти фазних сигналів);

4) низький рівень міжсимвольної інтерференції під час проходження через фільтруючі системи внаслідок наявності синусної та косинусної форм обвідних сигналів CPFSK (маніпуляція кожного складника сигналу CPFSK відбувається в моменти, коли значення обвідної дорівнює нулю).

**Фазова маніпуляція (ФМн, PSK, Phase Shift Keying)** - основний вид модуляції, що забезпечує високу швидкість передавання символів. ФМн сигнал на інтервалі  $T$  являє собою послідовність елементарних радіоімпульсів, які розрізняються лише значенням фази  $\varphi_i$ :

$$U(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_i), 0 < t < T, i = 1, 2, \dots, M, \quad (7.27)$$

де  $M$  - кількість градацій фази;

$U_0$  - амплітуда сигналу.

Найбільша завадостійкість забезпечується для рівномірного розташування градацій фази  $\varphi_i = 2\pi i / M$ .

Найпростішим випадком фазової маніпуляції є двофазна (бінарна) ФМн (BPSK, Binary PSK), за якої інформаційним символам „1” та „0” відпо-

відають сигнали, фаза одного з яких співпадає з фазою несучого коливання, а другого - проти фаза. Часова діаграма сигналу з BPSK зображена на рис. 7.17.

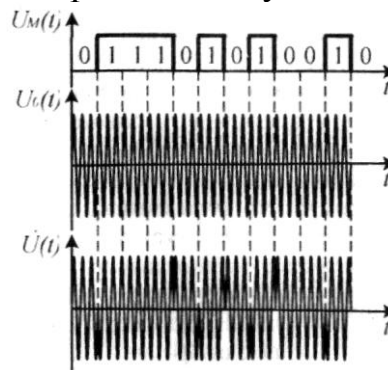


Рис. 7.17. Часова діаграма сигналу з BPSK

Багатофазна ФМн (MPSK, Multi PSK) застосовує алфавіт із  $M$  символів, що дозволяє передавати  $k = \log_2 M$  бітів протягом кожного символного інтервалу. В цьому разі швидкість передавання інформації (біт/с) буде в  $k$  разів більшою за швидкість маніпуляції (бод).

Наприклад, у разі 4-фазної ФМН (двократної фазової телеграфії) (QPSK, Quadrature PSK) кожен із 4 елементарних символів, що застосовуються, має свою фазу й може використовуватися для передавання чотирьох пар (дібітів) двійкових символів (00, 01, 10, 11), які формуються шляхом ділення вихідної послідовності на пари символів у виді старшого та молодшого розрядів. При цьому швидкість модуляції зменшується у 2 рази, але відповідно у двічі звужується ширина займаної смуги частот. У разі застосування більшої кратності досягається ще більша ефективність використання спектра.

Для ФМН-4 найчастіше застосовуються два набори фаз (варіанти А та В на рис. 7.18): А -  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ ; В -  $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ . При чому для інформаційних комбінацій, як правило, використовується код Грея.

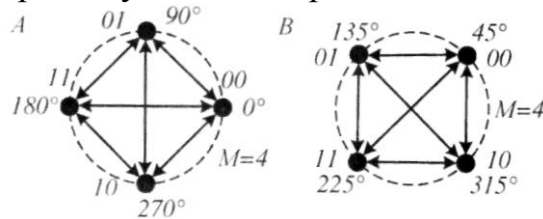


Рис. 7.18. Векторні діаграми ФМН сигналу

Для демодуляції ФМН сигналів потрібне опорне коливання (синхронне та синфазне з несучим коливанням), яке, зазвичай, відновлюється із ФМН сигналу. Для цього використовується передавання спеціальних „маркерних” посилок. Інакше виникає явище так званої „зворотної дії”, коли протягом деякого інтервалу часу усі послілки „1” на виході детектора перетворюються в „0” і навпаки.

Для запобігання цьому ефекту використовується диференційна (різницева, відносна) ФМН (DPSK, Differential PSK), за якої фаза попереднього модульованого імпульсу не змінюється в разі надходження символу „0” інформаційної послідовності та змінюється на протилежну в разі над-

ходження символу „1”. У разі застосування відносної 4-фазної ФМН (ФМН4, DQPSK, Differential Quaternary (Quadrature) PSK) дібітам ставляться у відповідність різниці фаз двох сусідніх елементів сигналу, що передається (рис. 7.19). Найчастіше для формування ФМН сигналу використовується квадратурний метод, який базується на можливості представлення будь-якого гармонійного коливання з довільною фазою лінійною комбінацією синфазного (In Phase -  $I$ ) та квадратурного (Quadrature -  $Q$ ). тобто зсунутого на  $\pi/2$  відносно синфазного, складників.

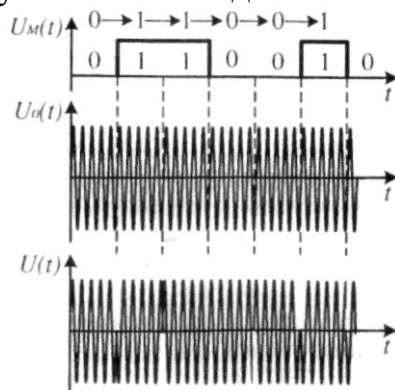


Рис. 7.19. Відносна ФМН

Якщо в якості опорного (синфазного) сигналу застосовується сигнал  $\cos \omega_0 t$ , то елементарна послілка для 4-фазної ФМН формується за законом

$$U_k(t) = \frac{U_0}{\sqrt{2}} d_n \cos(\omega_0 t + \psi) - \frac{U_0}{\sqrt{2}} d_{ok} \sin(\omega_0 t + \psi), \quad kT < t < (k+1)T, \quad (7.28)$$

де  $U_0$  - амплітуда сигналу;

$T$  - тривалість послілки (дібіта, сформованого із двох елементів первинної бінарної послідовності);

$\psi$  - початкова фаза несучого коливання.

У синфазному каналі  $d_{jk} = 1$ , якщо старший розряд дібіта інформаційної послідовності приймає значення 1. і  $d_{jk} = -1$ , якщо старший розряд дібіта дорівнює 0. Аналогічно в квадратурному каналі величина  $d_{qk}$  в залежності від значення молодшого розряду дібіта 1 або 0 приймає відповідно значення 1 або мінус 1. Для такого виду формування сигналу застосовується термін „квадратурна ФМн", яка позначається аббревіатурою DQPSK (але в змісті Differential Quadrature PSK). При цьому в разі зміни одного символу в дібіті фаза змінюється на  $2/\pi$ . Якщо ж символи змінюються одночасно в обох каналах (10 змінюється на 01, 00 на 11 і навпаки), то фаза змінюється на  $\pi$ , що призводить до появи паразитних випромінювань у супутникових ретрансляторах-транспондерах і створення радіозавад у сусідніх каналах. Останній вид модуляції набув поширеного використання в американських безпроводових радіотехнологіях IS-95, PACS та в японській системі PHS. Теоретичний спектр сигналу DQPSK зображений на рис. 7.20.

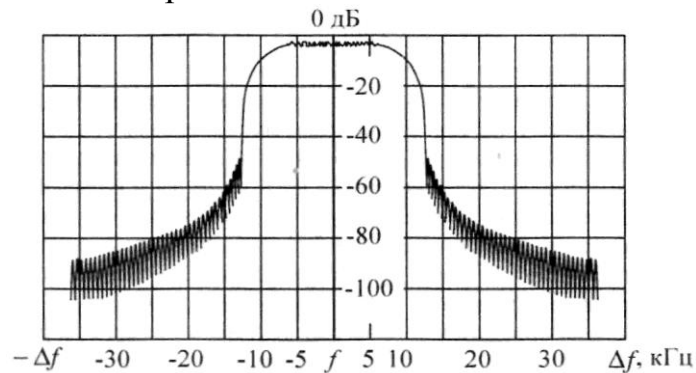


Рис. 7.20. Теоретичний спектр сигналу DQPSK

Для запобігання глибокій модуляції обвідної (в разі одночасної зміни символів в обох каналах) застосовується ФМн4 зі зсувом (OQPSK, Offset Quadrature PSK), яка іноді також називається ФМн4 із рознесенням (SQPSK, Staggered QPSK). Завдяки взаємному часовому зсуву послідовностей  $d_{jk}$  і  $d_{qk}$  на значення  $T/2$  здійснюється послідовна зміна фази коливання лише на  $0^\circ$  або  $\pm 90^\circ$  (наприклад, у разі зміни дібіта 00 на 11 спочатку змінюється фаза коливання за старшим дібітом: 00  $\rightarrow$  10, потім - ще на  $90^\circ$  за молодшим дібітом: 10  $\rightarrow$  11). В результаті цього зміна фази відбувається у 2 рази частіше, ніж у разі застосування звичайної ФМн-4, але лише на величину  $0^\circ$ ,  $+ 90^\circ$ , мінус  $90^\circ$ . При цьому спектр модульованого сигналу не розширюється завдяки тому, що ширина смуги частот сигналу OQPSK визначається шириною спектрів синфазного та квадратурного складників. Можливі зміни фази (сузір'я фазових переходів) і спектр сигналу OQPSK зображені відповідно на рис. 7.21, б та рис. 7.21, а.

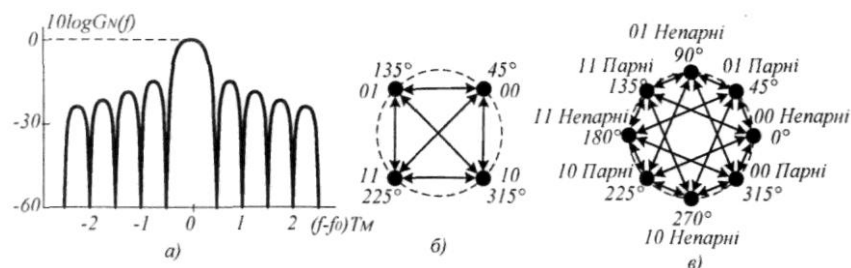


Рис. 7.21. Спектр OQPSK і сузір'я фазових переходів OQPSK і DQPSK

Спектральна щільність потужності сигналів OQPSK і QPSK описується формулою

$$G(f) = 2PT \sin^2(2\pi fT) / (2\pi fT)^2, \quad (7.29)$$

де  $P$  - середня потужність модульованого сигналу.

Одним із рішень проблеми зменшення рівня паразитних випромінювань, що виникають унаслідок різкої зміни фази модульованого коливання, є використання відносної квадратурної маніпуляції з додатковим зсувом на  $\pi/4$  ( $\pi/4$ -DQPSK). У разі застосування  $\pi/4$ -DQPSK зміна фази коливання відбувається лише на  $\pi/4$  або на  $3\pi/4$ . Процедура здійснення цього методу модуляції полягає в розподілі послідовності дібітів інформаційного (модульовального) потоку за черговістю на парні та непарні. Надалі, в залежності від зміни символів у послідовних дібітах, фаза модульовального коливання змінюється на  $n/4$  або  $3n/4$  (сузір'я фазових переходів DQPSK зображене на рис. 7.21, в). Наприклад, у разі зміни парного дібіту 00 на непарний дібіт 01 або 11 фаза коливання змінюється відповідно на мінус  $3\pi/4$  або  $+3\pi/4$ , а в разі зміни на непарні дібіти 00 або 10 - відповідно на мінус  $\pi/4$  або  $+\pi/4$ . На відміну від сигналу DQPSK у даному виді модуляції використовуються обидва варіанти А і В (рис. 7.17), які мають 8 станів фази, але конкретний перехід із будь-якого певного стану можливий лише до чотирьох станів. Цей вид модуляції використовується в стандартах стільникового зв'язку D-AMPS, транкінгового зв'язку TETRA і APCO 25.

Узагальнена функціональна схема модулятора сигналу  $\pi/4$ -DQPSK, яка реалізована в системах APCO 25, наведена на рис. 7.22.

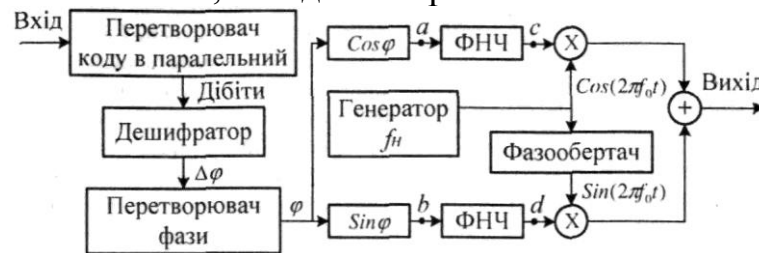


Рис. 7.22. Функціональна схема модулятора сигналу  $\pi/4$ -DQPSK

Епюри сигналів у різних точках схеми, які пояснюють принцип формування сигналу  $\pi/4$ -DQPSK, наведені на рис. 7.23.

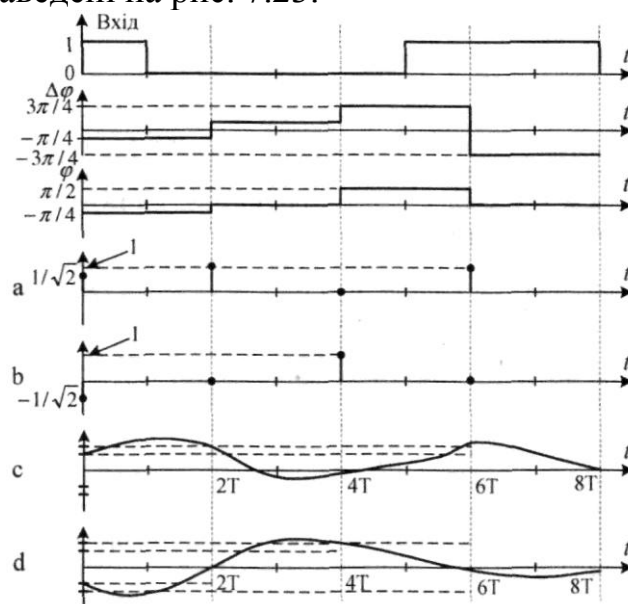


Рис. 7.23. Форма сигналів в окремих точках модулятора сигналу  $\pi/4$ -DQPSK  
формування сигналів виконується кількома етапами. На першому етапі сигнали, що надходять на вхід модулятора, об'єднуються в дібіти (на рис. 7.23 межі дібітів позначені пунктирними лініями).



Кожному  $i$ -му бітіту в дешифраторі ставиться у відповідність певна зміна фази  $\Delta\varphi_i$  таким чином, біт кодуються одним значенням зміни фази.

Таблиця 7.3. Залежність значення зміни фази для бібітів

Дібіт	Зміна фази $\Delta\varphi_i$ ,
00	$+\pi/4$
01	$+3\pi/4$
10	$-\pi/4$
11	$-3\pi/4$

Залежність  $\Delta\varphi$  для різних бібітів наведена в табл. 7.3.

Потім у перетворювачі фази проводиться підсумовування змін фази  $\Delta\varphi_i$  в результаті чого формується значення фази сигналу  $\varphi_i$ .

На наступному етапі розраховуються квадратурні компоненти комплексної обвідної сигналу:  $\text{Cos}(\varphi_i)$  - синфазна компонента;  $\text{Sin}(\varphi_i)$  - квадратурна компонента.

Сформований сигнал у точках  $a$  і  $b$  функціональної схеми має вигляд послідовності  $\delta$ -функцій з обмеженим набором нормованих значень амплітуди:  $0 \pm 1\sqrt{2}, \pm 1$ . Далі імпульсний сигнал надходить до фільтрів низької частоти (ФНЧ), які призначені для формування спектра сигналу й певної форми його комплексної обвідної. На виході фільтрів квадратурні компоненти набувають згладженого вигляду, що відповідає їхнім імпульсним характеристикам, і повільно змінюються на інтервалі бібіту. Останнє забезпечує повільні зміни фази сигналу під час переходу від одного бібіту до іншого.

Генератор несучої частоти та фазообертач на  $90^\circ$  формують квадратурні коливання несучої або проміжної частоти. Після їхнього попарного перемноження та підсумовування формується сигнал  $\pi/4$ -DQPSK.

Потрібно відмітити ще одну важливу особливість модуляції сигналу  $\pi/4$ -DQPSK. Оброблення кожного бібіту пов'язане з повільною зміною фази, яку можна розглядати як ЧМ. Для модуляції сигналу  $\pi/4$ -DQPSK можливі дві швидкості зміни фази: велика в разі оброблення дебітів, які вимагають зміни фази на  $\pm 3\pi/4$ , та менша в разі зміни фази на  $\pm \pi/4$ .

Значення девіації  $\Delta f$  можна обчислити за формулою

$$\Delta f = \Delta\varphi / (2\pi T), \quad (7.30)$$

де  $T$ - тривалість бібіта.

Для відомих значень  $T = 1/18$  кГц,  $\Delta\varphi_1 = 3\pi/4$  і  $\Delta\varphi_2 = \pi/4$  значення девіації частоти в системі APC0 25 відповідно становлять  $\Delta f_1 = 6,75$  кГц і  $\Delta f_2 = 2,25$  кГц. Звідси випливає, що під час передавання інформації спочатку випромінюється сигнал, частота якого на 6,75 кГц менша від несучої частоти, потім - сигнал із частотою на 2,25 кГц більшою, ніж несуча частота, далі - знову з частотою на 6,75 кГц меншою від несучої частоти і т. д. Це дозволяє, за необхідності, проводити синхронізацію несучої частоти на приймальній стороні. Таким чином, модуляцію сигналу  $\pi/4$ -DQPSK можна розглядати як різновид чотирирівневої ЧМ.

**Амплітудно-фазова маніпуляція (АФМн, APSK, Amplitude Phase Shift Keying)** є комбінацією амплітудного та фазового методів.

На інтервалі елементарної послідовності АФМн сигнал описується аналітичним виразом

$$U_i = U_j \cos(\omega_0 t + \varphi_j), 0 < t < T, \quad (7.31)$$

де  $j=1, \dots, N$  ( $N$ - кількість градацій амплітуди);

$Z=1, \dots, L$  ( $L$ - кількість градацій фази).

Загальна кількість положень  $M$  вектора інформаційного сигналу дорівнює  $M = N \cdot L$ , але в конкретній схемі вони можуть використовуватися не всі. Крім того, кількість положень  $M$  визначається алфавітом повідомлень, тому припустимі й асиметричні варіанти. Приклади векторних діаграм АФМн (для  $M=16$  і  $M=8$ ) зображені на рис. 7.24, часова діаграма АФМн ( $V=2, L=8, M=8$ ) - на рис. 7.25.

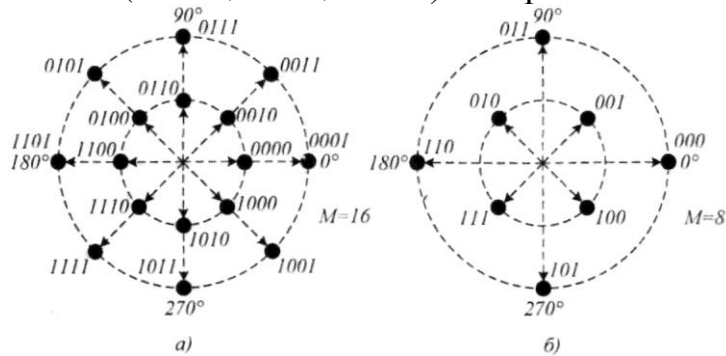


Рис. 7.24. Векторні діаграми АФМн ( $N=2, L=8$ )

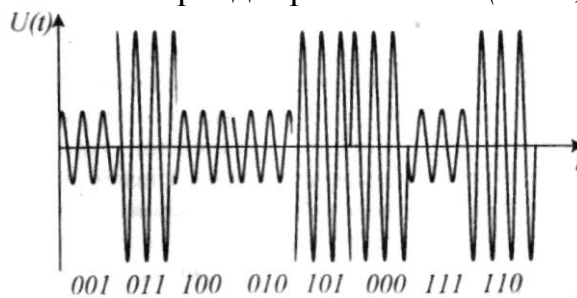


Рис. 7.25. Часова діаграма АФМн

Одним із сучасних методів модуляції, який набув поширеного застосування є квадратурна амплітудна маніпуляція (QASK, Quadraure Amplitude Shift Keying) або квадратурна амплітудна модуляція (QAM, Quadrature Amplitude Modulation).

Серед великої множини комбінацій значень амплітуди та фази оптимальними (з точки зору мінімального значення середньої потужності за заданою ймовірністю похибки) є розташування множини сигналів різної потужності в межах кола, радіус якого визначається максимально припустимою енергією сигналу.

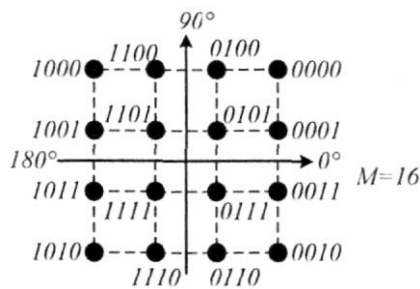


Рис. 7.26. Векторна діаграма QAM однакової кількості положень вектора станів), але має кращі параметри за похибками завдяки більшій відстані між точками за однакової максимальної потужності передавача.

Найчастіше застосовується симетрична конфігурація з регулярним розташуванням сигнальних точок у вузлах квадратної решітки (рис. 7.26). Кількість можливих комбінацій амплітуди й фази  $M$  відображається в позначенні конкретної схеми: 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM. Спектр сигналу QAM ідентичний спектру сигналу АФМн (за умови

Дещо осторонь від зазначених вище видів модуляції знаходяться схеми

модуляції з декількома несучими частотами (MCM, MultiCarrier Modulation), основною перевагою яких є стійкість до міжсимвольної інтерференції, а також значне зменшення впливу багатопроменевого поширення.

Найчастіше використовують один із різновидів методів кодового та частотного розділення - мультиплексування шляхом ортогональних несучих (Orthogonal Frequency Division Modulation, OFDM) [111, 112, 114] або кодове частотне ущільнення (Code OFDM, COFDM). У разі застосування методу OFDM певний діапазон частот розбивається на велику кількість піднесучих частот (від декількох сотень до тисяч) і кожному каналу зв'язку (передавач-приймач) призначається кілька таких частот, вибраних з усієї множини за заданим законом. Для забезпечення передавання потік даних розділяється на декілька підпотоків, кожен з яких передається на своїй піднесучій частоті. Таким чином передавання здійснюється одночасно на всіх піднесучих частотах. Принцип модуляції OFDM ілюструється рис. 7.27.

З урахуванням того, що ширина смуги частот, яка виділена для одного каналу, дорівнює  $\Delta f_{OFDM}$ , ширина спектра радіосигналу  $\Delta f_{n.n.}$  на кожній несучій частоті визначається як

$$\Delta f_{n.n.} = \Delta f_{OFDM} / N, \quad (7.32)$$

де  $N$  - кількість піднесучих частот (точок перетворення Фур'є). Метод OFDM суттєво відрізняється від методів, розглянутих раніше, тому потребує докладнішого пояснення.

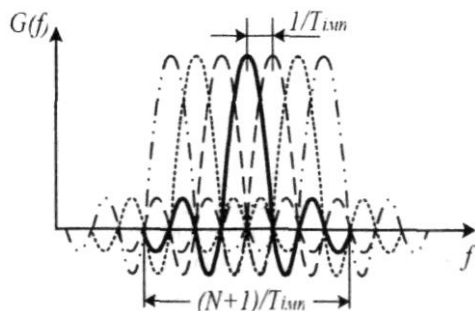


Рис. 7.27. Принцип модуляції OFDM

Одне з основних призначень сімейства методів багатоканальної модуляції, представником якого є метод OFDM, - це забезпечення передавання даних за умов значної міжсимвольної інтерференції (intersymbol interference, ISI). В разі застосування методу QPSK під час послідовного передавання двох символів за рахунок багатопроменевого поширення кожен із них може мати різну часову затримку. Якщо різниця між значеннями цих затримок суттєва, то другий символ може „накластися” на перший. Цей ефект називається „накладенням сигналів” і призводить до виникнення міжсимвольних радіо-завад (міжсимвольної інтерференції). Різницю між часом затримки останньої й першої „копій” сигналів можна розглядати як інтервал часу, на який здійснюється розширення символу.

На практиці для боротьби з міжсимвольною інтерференцією застосовують два способи:

- використовують символи, довжина яких забезпечує їхнє правильне декодування за умов міжсимвольної інтерференції;
- вирівнюють (equalizing) сигнали за часом з метою усунення спотворень, зумовлених міжсимвольною інтерференцією.

У першому випадку швидкість передавання символів обмежується значенням дещо меншим за ширину смуги частот пропускання каналів, яка визначається певною різницею часу затримки (обернено пропорційна їй). Тому для збільшення швидкості передавання даних необхідно відповідно збільшувати ширину пропускання каналу.

Для вирівнювання сигналів за часом використовують складніші способи багатоканальної модуляції (multichannel modulation), які базуються на розділенні каналу передавання на декілька незалежних каналів. Зі збільшенням кількості каналів міжсимвольна інтерференція наближається до нуля.

В реальних РЕЗ формування сигналів OFDM забезпечується не за рахунок використання окремих передавачів для кожної частоти із групи частот, а шляхом застосування ШПФ. При цьому використовується процедура ШПФ-ЗШПФ (ШПФ-Зворотне ШПФ): спочатку формується потрібний сигнал у цифровому вигляді, за яким надалі шляхом застосування ЗШПФ формується відповідний ВЧ сигнал. Але, як відомо, довжина  $N$  послідовності ШПФ визначається як ступінь  $n$  числа 2, тобто  $N = 2^n$ , тому в системах OFDM довжина послідовності також задається рівною  $N = 2^n$ .

Процедура формування сигналу на передавальній стороні еквівалентна в частотній області множенню спектрів вхідного та сигналу OFDM, в часовій - згортці сигналів. Для спрощення процесу оброблення сигналів на приймальній стороні потрібне проведення зворотної процедури - згортки прийнятого сигналу з імпульсною характеристикою каналу. Але, у зв'язку з невизначеним часом затримки сигналу для обчислювання зазначеної згорткової суми (згортки) необхідне застосування *циклічної згортки* імпульсної характеристики каналу із прийнятим сигналом. Для реалізації такої процедури прийнятий символ розширюється за рахунок створення циклічного префіксу шляхом повторення закінчення  $v$  символу на його початку, як це показано на рис. 7.28 ( $v$  - довжина циклічного префіксу). При цьому для забезпечення обчислювання згортки довжина префіксу повинна бути більшою за значення інтервалу часу затримки прийнятих сигналів.

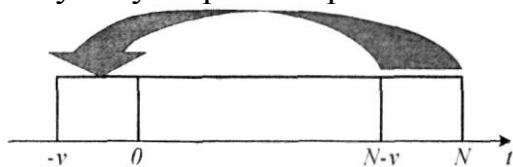


Рис. 7.28. Формування циклічного префіксу в методі OFDM

Інший спосіб базується на застосуванні під час передавання символів захисних інтервалів між ними, значення яких задаються такими, щоб забезпечувалося завмирання поточного сигналу раніше, ніж надійде наступний.

Для забезпечення настроювання РПП на задану імпульсну характеристику проводиться передавання відомих символів на окремих частотах або спеціального OFDM-символу, який може використовуватися для визначення імпульсної характеристики каналу. Як правило, ці канали розташовуються на краях загальної смуги передавання і заповнені нулями. Це викликано тим, що фільтри передавача й приймача дуже просто настроювати у випадках, коли інформація через канали зв'язку не передається.

На відміну від інших методів багатоканальної модуляції в разі застосування методу OFDM використовується однакова кількість бітів інформації в усіх каналах. Метод OFDM використовується в системах зв'язку стандартів IEEE 802.11b, IEEE 802.16a, IEEE 802.16-2004, DVB-S, DAB. Наприклад, у стандарті IEEE 802.11b для  $\Delta F_{OFDM} = 20$  МГц ( $N = 64$ )  $\Delta f_{н.н.}$  становить 312,5 кГц. В європейській цифровій

системі DAB використовується від 192 до 1536 піднесучих частот. Зазвичай це призводить до збільшення ширини спектра сигналів, що випромінюються. Узагальнена схема передавача OFDM, яка застосовується в стандарті IEEE 802.11a наведена на рис. 7.29.

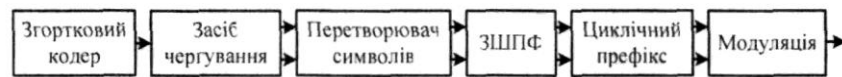


Рис. 7.29. Узагальнена схема передавача OFDM

Інформаційна послідовність імпульсів скремблюється й кодується у згортковому кодері. Потім сформована послідовність каналних бітів поділяється на групи. Кількість бітів у кожній групі дорівнює кількості бітів, яка використовується для одного символу. Поділені на біти каналні біти перетворюються в 48 символів, при цьому кількість бітів, що приходить на один символ, залежить від швидкості передавання даних. Символи розташовуються на 48 піднесучих частотах OFDM-символу, окремо на 4 піднесучих частотах передаються пілот-сигнали. Після виконання зворотного ШПФ формується циклічний префікс. Результуюча послідовність модулює відповідну несучу частоту.

#### 7.4 Особливості технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання РЕЗ, які використовують різні види ущільнення

У зв'язку з надто обмеженою просторовою зоною радіодоступності РЕЗ, які використовують методи SDM, моніторинг випромінювань таких РЕЗ реалізується шляхом застосування мобільних засобів радіомоніторингу або портативних засобів радіоконтролю, переважно, за запитами щодо наявності радіозавод або заважаючих радіовипромінювань інших РЕЗ. Технологія технічного радіоконтролю параметрів РЕЗ, які використовують метод SDM зводиться до такого:

- мобільні (портативні) засоби розташовуються в певному місці, де спостерігаються радіозаводи (заважаючі радіовипромінювання);
- із застосуванням ненаправлених антен фіксується факт наявності радіозаводи (заважаючого випромінювання);
- із застосуванням направлених антен визначається напрямок (пеленг) на ДРВ і вимірюються параметри його радіовипромінювання;
- змінюючи положення відносно ДРВ, визначається його місцезнаходження та проводиться ідентифікація.

Технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювання передавачів РЕЗ, які використовують методи FDM, може бути забезпечений шляхом застосування мобільних і портативних засобів радіоконтролю та, за можливості, використання окремих стаціонарних засобів, і базується на локалізації місцезнаходження ДРВ (за результатами радіопеленгування або визначення напрямку на ДРВ), а також на розширенні смуг частот аналізу електромагнітної обстановки. Технологія технічного радіоконтролю РЕЗ, які використовують метод FDM, практично не відрізняється від наведеної для методу SDM.

Технічний радіоконтроль параметрів у мережах РЕЗ, які використовують метод доступу TDM в окремих випадках може бути реалізований шляхом застосування мобільних і портативних засобів радіоконтролю. Оскільки під час проведення технічного радіоконтролю РЕЗ, які використовують метод TDM, потрібно локалізувати ДРВ не лише за азимутом та кутом місця, а й за часом, то необхідна одночасна перевірка наявності радіозавод для певного РЕЗ і радіовипромінювання, яке реєструється засобами технічного радіоконтролю.

Радіомоніторинг РЕЗ, які використовують метод множинного доступу з кодовим розділенням (CDM), у частині проведення технічного радіоконтролю випромінювань у мережі не відрізняється від радіомоніторингу РЕЗ, які працюють у безперервному режимі, і реалізується шляхом застосування мобільних і портативних засобів. Але ототожнення випромінювань з конкретним РЕЗ неможливий, тому виявлення джерела радіозавади реалізується шляхом пошуку ДРВ із застосуванням направлених антен, а також тимчасового припинення роботи (вимкнення) передавачів, які потенційно можуть створювати радіозаваду.

## Розділ 8

# РАДІОТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ. МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ

### 8.1 Класифікація радіотехнологій та систем радіозв'язку

Відповідно до загального розподілу радіочастот і смуг радіочастот, який у всесвітньому масштабі визначається МТРЧ [1], а в Україні - НТРЧ [18], діапазон радіочастот від 10 кГц до 40 ГГц в Україні розподілений між більше ніж 30 радіослужбами. Але ці радіослужби мають різну „вагу” й поширення у сфері телекомунікацій та користування РЧР. Зокрема, РЕЗ, які відносяться до одних радіослужб, працюють у надто обмеженій області простору, ті, що відносяться до інших радіослужб - можуть працювати лише в пасивному режимі чи використовуються для вирішення лише вузькоспеціалізованих завдань. Серед великого різноманіття радіослужб найбільшу увагу Адміністрацій зв'язку та органів частотного регулювання у смугах радіочастот загального користування привертають радіослужби, пов'язані з наданням послуг радіозв'язку. До радіослужб, найрозвинутіших наданий час унаслідок господарської та комерційної привабливості, варто віднести фіксовану, рухому, радіомовну, радіонавігаційну радіослужби, а також кілька супутникових радіослужб.

А втім, на практиці, зазвичай, коли мова йде про послуги зв'язку мають на увазі не радіослужби, а радіотехнології, системи та стандарти радіозв'язку.

Зміст терміну **радіотехнологія** визначений у [6] як сукупність способів формування, передавання, приймання (оброблення) радіосигналів, які складають єдиний технологічний процес передавання та приймання радіосигналів і застосування якої передбачає використання РЧР. Таким чином, радіотехнологія визначає основні (загальні) принципи доступу до телекомунікаційних мереж, структуру сигналів тощо.

На жаль, у відомій науково-технічній літературі нині відсутні визначення таких термінів, як „система (радіо)зв'язку” і „стандарт (радіо)зв'язку”.

Нижче під **системою радіозв'язку** матиметься на увазі сукупність рознесених у просторі РЕЗ, які забезпечують передавання інформації за допомогою радіохвиль. З технічної точки зору система радіозв'язку має конкретну структуру, яка базується на застосуванні основних принципів певної радіотехнології та реалізації певного стандарту (стандартів) радіозв'язку. Таким чином, у межах однієї радіотехнології може існувати досить велика кількість систем радіозв'язку, які можуть бути продуктами розробки різних виробників засобів телекомунікацій.

**Стандарт радіозв'язку** представляє собою сукупність нормованих параметрів, які визначають вимоги до технічних параметрів і характеристик певної системи

радіозв'язку. В межах однієї радіотехнології може застосовуватися декілька стандартів зв'язку. Таким чином, стандарт радіозв'язку визначає вимоги до технічних параметрів сигналів, зокрема, часових та частотних параметрів і характеристик, структури сигналу, протоколів обміну даними тощо.

Наприклад, одна з найпоширеніших у світі радіотехнологія CDMA є базовою для великої кількості систем рухомого цифрового стільникового зв'язку, зокрема, для CDMA-450, CDMA-800, CDMA-2000, а також для систем UMTS. У свою чергу, різновиди систем стільникового зв'язку CDMA-800 базуються на застосуванні стандартів IS-95 (Interim Standard-95, комерційна назва cdmaOne) версій IS-95a, IS-95b, IS-95 HDR (High Data Rate), а також cdma2000 версій cdma2000 1x EV-DO (яку іноді називають IS-95c) і cdma2000 1x EV-DV. Різні версії стандарту IS-95 відрізняються функціональним призначенням: IS-95a визначає параметри сигналів для забезпечення доступу до мобільних станцій, IS-95b - до IP-мереж, IS-95c - до точок доступу.

За загальною класифікацією найпоширеніші відомі радіотехнології та системи радіозв'язку можна поділити на такі основні *категорії*:

- системи аналогового КХ зв'язку;
- системи УКХ зв'язку;
- системи радіомовлення;
- системи безпроводового радіодоступу;
- радіорелейні системи (PPC);
- системи супутникового зв'язку.

У свою чергу системи радіомовлення поділяються на:

- системи аналогового та цифрового звукового мовлення;
- системи аналогового та цифрового телевізійного мовлення.

Категорія систем супутникового зв'язку містить у собі велике різноманіття окремих підсистем, зокрема, радіонавігаційної, радіоаматорської, радіомовної, служби космічних досліджень Землі, служби космічної експлуатації, системи супутникового зв'язку, системи фіксованої та рухомої супутникових служб тощо.

Найбільшою за кількістю систем і стандартів радіозв'язку вважається категорія систем безпроводового доступу. В [111] наведено декілька варіантів класифікації систем безпроводового доступу за різними ознаками: застосування, діапазон частот, методи доступу до телекомунікаційних мереж, спосіб передавання інформації, покоління систем. Класифікація систем безпроводового доступу за загальними характеристиками наведена на рис. 8.1. За типом приєднання до систем загального користування системи безпроводового доступу поділяються на такі, що приєднуються до телефонних мереж загального користування (ТМЗК), до систем передавання даних загального користування (СПД ЗК), до мереж надання послуг зв'язку (МНПЗ), зокрема, IP-мереж.

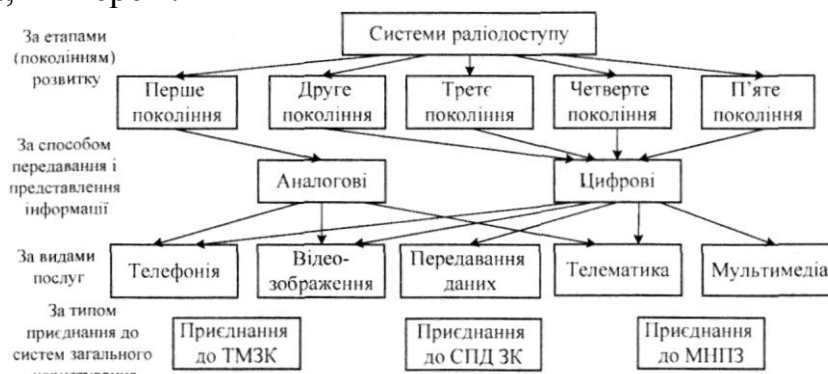


Рис. 8.1. Класифікація систем безпроводового доступу за загальними

характеристикам и

Найповніша класифікація систем безпроводового доступу за параметрами та характеристиками радіоінтерфейсу наведена на рис. 8.2.

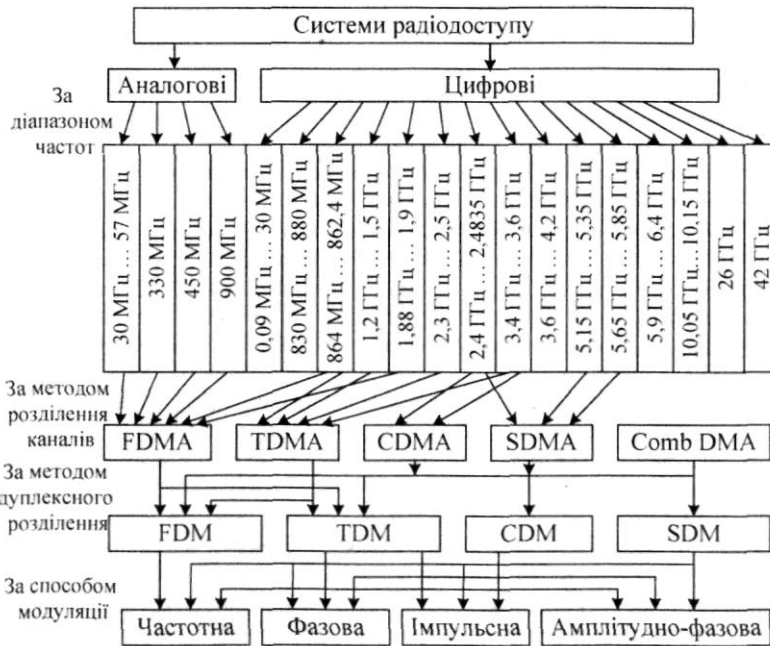


Рис. 8.2.

Але з точки зору радіомоніторингу класифікація радіотехнологій та систем радіозв'язку за такими критеріями не дозволяє однозначно визначити методи моніторингу радіочастотного спектра і технічного радіоконтролю. Для проведення радіомоніторингу використання спектра РЕЗ, які відносяться до однієї радіослужби, але використовують різні види модуляції, методи доступу до середовища передавання даних і різні види сигналів, можуть бути затребувані різні методи виявлення радіовипромінювання та вимірювання їхніх параметрів. Типовим для такого випадку прикладом може бути технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювання передавачів систем супутникового зв'язку на лініях „вгору” (наземних станцій) і „вниз” (космічних станцій). У той же час, для радіомоніторингу використання спектра РЕЗ, які відносяться до різних радіотехнологій можуть застосовуватися однакові методи та технічні засоби.

Уніфікація процедур радіомоніторингу вимагає необхідності поділення радіотехнологій, систем і стандартів радіозв'язку на певні групи, в кожній з яких припустиме застосування однакових методів і технічних засобів технічного радіоконтролю. Крім того, практичний інтерес представляють РЕЗ, випромінювання яких можуть бути проконтрольовані наземними засобами радіомоніторингу. Як базову доцільно використовувати класифікацію радіотехнологій та систем радіозв'язку, наведену в „Плані використання радіочастотного ресурсу України” (19) з її узагальненням на основі застосування таких критеріїв:

- єдність принципів організації та побудови мереж радіозв'язку;*
- застосування однотипних радіосигналів.*

Принципи організації мереж радіозв'язку ґрунтуються на врахуванні особливостей:

- умов поширення радіохвиль у певних діапазонах радіочастот;



-методів доступу до середовища передавання даних (ущільнення частотних каналів).

Критерій однотипності сигналів ґрунтується на врахуванні:

- методів модуляції радіосигналів;
- методів кодування радіосигналів;
- інших електричних параметрів радіосигналів.

З точки зору вирішення завдань регулювання користування РЧР, моніторингу радіочастотного спектра і технічного радіоконтролю найбільшу увагу привертають такі категорії радіотехнологій та систем радіозв'язку, що функціонують у діапазоні частот від 2 МГц до 40 ГГц:

- аналоговий КХ зв'язок;
- аналоговий УКХ зв'язок;
- аналогове звукове мовлення;
- цифрове звукове мовлення;
- аналогове телевізійне мовлення;
- цифрове телевізійне мовлення;
- аналогова безпроводова телефонія;
- цифрова безпроводова телефонія;
- аналоговий транкінговий радіозв'язок;
- цифровий транкінговий радіозв'язок;
- персональний радіовиклик (пейджинговий радіозв'язок);
- стільниковий зв'язок;
- системи, які застосовують сигнали з розширенням спектра;
- радіорелейний зв'язок;
- супутниковий радіозв'язок.

Нижче в даному розділі наведені деякі пропозиції стосовно моніторингу спектра в смугах радіочастот, виділених для цих радіотехнологій та систем радіозв'язку й технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювань РЕЗ, які працюють в цих смугах частот.

На думку авторів організація моніторингу спектра та технічного радіоконтролю повинна базуватися на уявленні:

- принципів організації зв'язку в телекомунікаційних мережах певних радіотехнологій та систем радіозв'язку;
- особливостей технічних характеристик і параметрів радіовипромінювань передавачів у мережах цих радіотехнологій та систем радіозв'язку;
- технічних можливостей обладнання, яке використовується для проведення радіомоніторингу.

Структура викладення матеріалу уніфікована і містить:

- загальні відомості про системи радіозв'язку в частині організації мереж зв'язку та технічних параметрів радіовипромінювання передавачів цих систем;
- особливості організації моніторингу у визначених для певних радіотехнологій та систем зв'язку смугах радіочастот;
- пропозиції щодо інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання передавачів певних радіотехнологій та систем зв'язку.

При цьому треба мати на увазі, що питання організації мереж зв'язку розглядаються лише з точки зору інтересів радіомоніторингу і, як правило, не стосуються організації логічних каналів та взаємодії між окремими підсистемами всередині мережі.

## **8.2 Аналоговий короткохвильовий радіозв'язок**

### **8.2.1 Загальні відомості про РЕЗ аналогового КХ зв'язку**

Аналоговий КХ зв'язок відноситься до найстарішого виду радіозв'язку. Особлива увага користувачів до смуги частот від 3 МГц до 30 МГц викликана особливостями поширення радіохвиль у ній.

До позитивних властивостей КХ можна віднести:

- незначне поглинання радіохвиль іоносферою Землі;
- можливість проведення дальнього радіозв'язку між РЕЗ із відносно невеликими габаритними розмірами антен і потужностями передавачів;
- відносно велика ємність діапазону.

До недоліків КХ відносять:

- залежність умов поширення радіохвиль від стану іоносфери;
- наявність глибоких завмирань радіосигналів;
- наявність зон мовчання;
- наявність радіолуни.

КХ застосовують для організації звукового мовлення, радіозв'язку з наземними, земними, космічними станціями, а також для позагоризонтної радіолокації.

У зв'язку зі зростанням попиту на радіочастотні канали в діапазоні КХ і його обмеженою частотною ємністю міжнародна комісія з радіочастот поділила земну кулю на 10 зон (70 підзон) за територіальною ознакою. Застосування рознесення радіопередач за часом доби дозволяє багаторазово використовувати однакові частоти. Так, кожен кілогерц смуги частот від 1,5 МГц до 30 МГц використовується 20 - 30 офіційними частотними присвоєннями.

Незважаючи на досить вузький діапазон частот, що відноситься до КХ (ВЧ) (від 3 МГц до 30 МГц), він розподілений для великої кількості радіо-служб, зокрема, для [18, 19]:

- фіксованої служби;
- рухомої служби;
- суходільної рухомої служби;
- морської рухомої служби;
- повітряної рухомої служби;
- радіомовної служби;
- радіолокаційної служби;
- морської радіонавігаційної служби;
- допоміжної служби метеорології;
- радіоастрономічної служби;
- супутникової служби стандартних частот і сигналів часу;
- служби космічних досліджень;
- аматорської радіослужби;
- аматорської супутникової служби.

Але, враховуючи надто обмежену сферу застосування переважної більшості систем зв'язку, які представляють зазначені радіослужби, а також специфіку роботи РЕЗ двох останніх радіослужб, потрібно відмітити, що найбільшу увагу органів радіомоніторингу в цьому діапазоні частот привертають лише дві радіотехнології [19]: аналоговий КХ зв'язок та аналоговий КХ персональний зв'язок.

### **8.2.2 Системи аналогового КХ зв'язку**

Системи аналогового КХ зв'язку працюють у діапазоні частот від 3 МГц до 30

МГц і нині мають надто обмежене застосування, але важливе значення як засіб внутрішнього та міжнародного зонового, рухомого й виробничо-диспетчерського радіозв'язку загального та відомчого використання (як правило, під „зоною” мається на увазі територія на земній поверхні розмірами приблизно 500 км x 500 км). Вони забезпечують: магістральний, зонувий і місцевий радіозв'язок, роботу служби стандартних частот і різних наземних рухомих радіослужб, службові лінії для земних станцій супутникового зв'язку, мережу радіомовлення, авіаційний зв'язок на лінії „земля-повітря”, роботу служби радіозв'язку на залізничному транспорті, зв'язок між морськими суднами, аматорський радіозв'язок тощо. Але через низьку надійність КХ зв'язку, зумовленою можливістю завмирання радіосигналів під час їхнього іоносферного поширення та наявністю „зон мовчання”, цей вид зв'язку набув застосування лише в якості резервного для більш надійних систем зв'язку.

Дальність радіозв'язку та розміри зони обслуговування залежать від вихідної потужності передавача, частоти випромінювання, типу антени передавача, її просторової орієнтації та поляризаційних характеристик, електрофізичних властивостей ґрунту та атмосфери Землі залежно від часу доби.

Магістральний КХ радіозв'язок - це вид зв'язку, організований за принципом „пункт-пункт” між двома пунктами, розташованими один від одного на відстані близько 10000 км і більше, при цьому радіозв'язок проводиться без ретрансляції сигналу або з ретрансляцією в одному чи двох проміжних пунктах.

Мережа зонового радіозв'язку організовується за принципом „кожний із кожним”. При цьому необхідно враховувати, що поширення радіохвиль на трасах довжиною до 2000 км трипроменеє внаслідок їхнього відбивання від шарів іоносфери  $F_1$ ,  $F_2$  і  $E$ . Зі зменшенням довжини траси збільшується вплив шару  $E$ , що призводить до збільшення часової різниці між надходженнями променів до місця приймання, що найчастіше спостерігається на відстанях до 1000 км. Це призводить до необхідності використовувати на коротких трасах дороге магістральне обладнання та потужні передавачі (наприклад, для забезпечення зв'язку на трасі довжиною 1000 км потужність передавача повинна бути на 12 дБ більшою, ніж для траси довжиною 2000 км). Для КХ радіозв'язку використовують різні види телефонних і телеграфних сигналів.

Для цієї категорії РЕЗ в Україні виділені такі смуги частот [19]:

- для супутникової рухомої служби - від 2045 кГц до 2100 кГц, від 3800 кГц до 3900 кГц, від 6765 кГц до 7000 кГц, від 7400 кГц до 7450 кГц, від 22535 кГц до 22785 кГц і окремі частоти в діапазонах частот 2150 кГц, 8900 кГц, 6800 кГц, 7700 кГц, 9155 кГц;

- для повітряної рухомої служби - окремі частоти 3915 кГц, 6655 кГц і 6665 кГц;

- для рухомої служби - смуга частот від 3155 кГц до 3220 кГц і окремі частоти в діапазонах частот 2,4 МГц, 2,6 МГц, 3,2 МГц, 3,7 МГц, 4,5 МГц, 10,3 МГц, 10,5 МГц, 23,0 МГц і 26,0 МГц;

- для фіксованої служби - окремі частоти 3995 кГц, 4020 кГц, 22885 кГц і 22925 кГц;

- для морської рухомої служби - частоти 4405 кГц і 4430 кГц.

Окремі частоти можуть використовуватися для радіозв'язку на залізничному транспорті в телефонному чи телеграфному режимах.

З метою забезпечення професійного радіозв'язку в діапазоні КХ застосовують різні види телефонних і телеграфних сигналів. Для передавання телефонних сигналів використовується:

- двосмугова амплітудна телефонія з повною несучою частотою (клас радіовипромінювання *A3E*);

- односмугова телефонія з повною (*H3E*), ослабленою (*R3E*) або подавленою (*J3E*) несучими частотами;

- телефонія у двох незалежних бічних смугах (*B8E*).

Для телеграфії застосовується:

- багатоканальна тональна телеграфія в одній бічній смузі з ослабленою (*R7B*) або подавленою (*J7B*) несучими частотами;

- багатоканальна тональна телеграфія у двох незалежних бічних смугах з ослабленою несучою частотою;

- односмугове комбіноване передавання сигналів телефонії та телеграфії в незалежних бічних смугах.

До класу аналогових систем у діапазоні КХ відноситься також факсимільний зв'язок. Для реалізації слухового приймання телеграфних сигналів застосовуються сигнали класів радіовипромінювання *A1A та A2A*.

З точки зору технічних параметрів приймально-передавального обладнання КХ зв'язок характеризується малою шириною спектра сигналу (сотні герц - одиниці кілогерц), великою потужністю передавачів (десятки ват) і досить високою чутливістю приймачів (долі-одиниці мікровольт). У системах телефонії найчастіше використовуються радіовипромінювання класу *3K10J3E*. Вихідна потужність передавачів не перевищує 20 Вт.

Для забезпечення зв'язку із застосуванням односмугової модуляції необхідне виконання таких вимог [115-117]:

- номінальні значення несучих частот повинні бути цілими й кратними 5 кГц;

- номінальне рознесення частотних каналів, у яких застосовують АМ сигнали із двома бічними смугами, в службі ВЧ звукового мовлення повинне бути рівним 10 кГц, а для передавання сигналів в іншу географічну зону можна застосовувати частотне рознесення 5 кГц;

- допустиме відхилення частоти повинне становити 10 Гц;

- верхня межа смуги звукових частот передавача на рівні мінус 3 дБ не повинна бути більшою 4,5 кГц за умови подальшого ослаблення низькочастотних складників сигналу із крутизною 35 дБ/кГц, а нижня межа повинна бути рівною 150 Гц за умови ослаблення низькочастотних складників сигналу із крутизною 6 дБ на октаву, тобто рівень потужності спектральних складників сигналу повинен зменшуватися в чотири рази в разі двократного зменшення значення частоти;

- ширина необхідної смуги частот повинна бути не більше 4,5 кГц;

- ослаблення небажаної нижньої бічної смуги частот повинно бути не менше 35 дБ відносно рівня сигналу верхньої бічної смуги частот;

- ширина необхідної смуги частот для сигналів служби звукового мовлення повинна бути не більше 9 кГц.

Крім того, в діапазоні КХ застосовують і більш складні види сигналів, зокрема. ЧМ сигнал із неперервною несучою частотою, ЧМ сигнал із неперервною фазою, а також антифедінговий сигнал. В останньому випадку інформація передається одночасно на двох частотах із рознесенням між ними рівним  $\Delta f$ , яке достатнє для запобігання взаємної кореляції завмирань на несучих частотах, що забезпечує високу завадостійкість сигналу. Для практично повного усунення взаємної кореляції достатнім вважається рознесення між несучими частотами близько 400 Гц. При цьому для запобігання биття частот необхідно, щоб на інтервалі посилення  $i_3$  містився хоча б

один період обвідної биття, тобто виконувалася умова  $t_3 \geq 1/\Delta f$ .

За призначенням передавачі КХ радіозв'язку можна умовно поділити на декілька груп [118]:

- передавачі для магістрального радіозв'язку;
- передавачі морської служби;
- передавачі (радіостанції) для річкових пароплавств;
- передавачі (радіостанції) для авіаційного радіозв'язку;
- сучасні автоматизовані комплекси поширеного застосування для фіксованого й рухомого радіозв'язку.

Передавачі для магістрального радіозв'язку, як правило, працюють у діапазоні частот від 1,5 МГц до 30 МГц із кроком сітки частот 100 Гц і мають досить широкий діапазон значень вихідної потужності (від 1 кВт до 30 кВт), що дозволяє забезпечувати дальність зв'язку від 2000 км до 10000 км. У цій групі передавачів використовується великий набір класів радіовипромінювання: *A1A, A1B, H3E, R3E, J3E, V3E, F1B, F7B, G1B, F3X*.

Радіостанції морської служби, працюють в окремих смугах частот (від 255 кГц до 600 кГц, від 1,6 МГц до 3,8 МГц, від 4,0 МГц до 25,6 МГц) і також використовують досить велике різноманіття класів радіовипромінювання (*A1A, H2A, H3E, R3E, J3E, 17B, L B, F1B, G1B, R3C, J3E, M1B*). їхня потужність, як правило, не перевищує одиниць кіловат.

Діапазон робочих частот передавачів бортових радіостанцій цивільної авіації також перекриває практично весь діапазон КХ зв'язку (від 2 МГц до 30 МГц), але їхня вихідна потужність, як правило, не більша 400 Вт, а набір класів радіовипромінювання обмежується *ТЛФАМ, ТЛФОМ, ТЛЕАТ і АЗЛ*.

### **8.2.3 Системи аналогового КХ персонального зв'язку**

Окрему увагу привертають системи персонального (безпосереднього) КХ зв'язку в діапазоні частот 27 МГц, які призначені для забезпечення зв'язку між фізичними особами без підключення до мереж загального користування та проміжного обладнання (без базових станцій). Характерна ознака цих систем - забезпечення рівного доступу всіх користувачів до всіх частотних каналів, за рахунок чого забезпечується ЕМС із радіостанціями інших користувачів.

Ці системи здобули поширене застосування в мережах технологічного зв'язку із закріпленням певних частотних каналів за окремими користувач-чами РЧР.

Згідно з Рішенням Європейського Комітету Радіозв'язку ERC/DEC(98)11 від 23 листопада 1998 р. частотна смуга від 26960 кГц до 27410 кГц визначена для країн СЕРТ узгодженою частотною смугою для використання радіостанціями персонального зв'язку за стандартом ETS 300 135 [119, 120] і вважається діапазоном частот, виділеним для приватного радіозв'язку (Citizen's Band, CB). Крім того, цей документ визначає єдиний режим модуляції - ЧМ, єдині вимоги до технічних параметрів і порядок організації зв'язку.

Ця ж смуга частот для КХ персонального зв'язку виділена і в Україні [19]. Але, на відміну від інших країн Європи, в ній відсутня єдина сітка частот і діє досить велика кількість стандартів (в Європі застосовується сітка частот 10 кГц і використовуються лише два стандарти - PR 27 і PMR 446).

В радіостанціях КХ персонального зв'язку використовуються сигнали з ЧМ (або АМ) класів радіовипромінювання *F3E (A3E, J3E)*. Потужність передавача на несучій частоті для класу радіовипромінювання *F3E* і пікова потужність для класів

радіовипромінювання *A3E* (AM), *J3E* (SSB) не більша 4 Вт. Ширина смуги частот на рівні мінус 30 дБ не перевищує для класів радіовипромінювання: *F3E* (ЧМ) - 9 кГц, *A3E* (AM) - 10,3 кГц, *J3E* (SSB) - 4,3 кГц зі смугою частот модульовальних сигналів від 300 Гц до 2,7 кГц. Зазначена смуга частот розподілена між 40 каналами із частотним рознесенням між ними рівним 10 кГц.

Як свідчить аналіз розподілу РЕЗ за смугами частот у діапазоні частот від 3 МГц до 30 МГц найбільша кількість передавачів спостерігається в діапазоні частот 5 МГц (близько 35 передавачів у смузі частот 1 кГц), найменша - в діапазоні 30 МГц (близько 3 передавачів у смузі частот 100 кГц).

Основними особливостями КХ персонального зв'язку, організації його мереж та технічних параметрів радіовипромінювання є:

- наявність у пункті приймання кількох (щонайменше двох) сигналів від одного передавача, що зумовлено багатопроменевим поширенням і дифузійним відбиванням радіохвиль;
- значні флуктуації рівня сигналу в пункті приймання;
- надто великі зони радіопокриття (протяжністю сотні-тисячі кілометрів і площею сотні тисяч квадратних кілометрів);
- наявність у пункті приймання сигналів кількох радіостанцій (типовою вважається ситуація, коли в діапазоні КХ у смузі частот 1 кГц може прослуховуватися до 10 радіостанцій);
- залежність умов проходження сигналів від часу доби;
- робота радіостанцій переважно в симплексному режимі;
- застосування в каналах зв'язку „зона - ретранслятор" частотного розділення;
- формування групового спектра в приймальному тракті ретранслятора шляхом складення випромінювань абонентських передавачів.

#### **8.2.4 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ КХ зв'язку**

Особливості поширення КХ в атмосфері Землі зумовлюють специфіку їхнього приймання та оброблення технічними засобами радіомоніторингу. Наприклад, унаслідок нестабільного стану іоносфери із часом, багатошляхового механізму поширення радіохвилі від антени передавача до антени засобу радіоконтролю, важко отримати ідентичні результати вимірювання енергетичних параметрів радіовипромінювання при вимкнутій системі автоматичного регулювання підсилення РПП. Це суттєво утруднює процедуру ідентифікації радіовипромінювання різних передавачів.

Враховуючи наведені раніше особливості застосування властивостей поширення радіохвиль у діапазоні КХ та організації мереж зв'язку необхідно зауважити, що ДРВ у цьому діапазоні частот можуть бути радіопередавачі (радіостанції) розташовані як на території України, так і за її межами. З іншого боку, випромінювання певного передавача можуть одночасно спостерігатися кількома станціями радіомоніторингу, розташованими в різних країнах. Як свідчать результати аналізу наведених раніше особливостей організації зв'язку в діапазоні КХ, моніторинг радіовипромінювання в цьому діапазоні є досить складним завданням. Тому ефективно вирішення завдань радіомоніторингу може бути вирішене лише спільними зусиллями кількох адміністрацій зв'язку.

Радіомоніторинг спектра в діапазоні КХ може бути організований із застосуванням як стаціонарних, так і мобільних засобів:

- на підставі планових та (чи) позапланових завдань;

- за заявами користувачів щодо наявності радіозавад;
- за участі в моніторингових заходах;
- під час проведення досліджень щодо визначення особливостей поширення (моделей поширення) радіохвиль у діапазоні КХ за запитами міжнародних організацій.

Стационарні засоби призначені для моніторингу спектра РЕЗ, які входять до складу мереж зоновому КХ зв'язку, мобільні засоби - для технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювань решти видів систем КХ зв'язку, зокрема, РЕЗ систем зв'язку морської та авіаційної служб, а також, у виняткових випадках, РЕЗ персонального (безпосереднього) КХ зв'язку.

У процесі проведення радіомоніторингу виконуються операції щодо:

- виявлення необхідного радіовипромінювання;
- інструментального оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання;
- ідентифікації радіовипромінювання;
- визначення класу радіовипромінювання сигналу;
- пеленгування ДРВ;
- орієнтовного визначення місцезнаходження ДРВ.

**Виявлення** радіовипромінювання проводиться шляхом спостереження в певних смугах частот.

Як було відмічено раніше, в діапазоні КХ вимірювання параметрів радіосигналів і визначення місцезнаходження ДРВ є досить складним завданням унаслідок:

- швидкого зменшення рівня напруженості поверхневої (земної) радіохвилі зі збільшенням відстані до ДРВ;
- наявності протяжної „мертвої“ зони, до якої не надходять ані поверхневі, ані просторові (іоносферні) радіохвилі, і геометричні розміри якої залежать від часу доби та пори року;
- значних флуктуацій рівня сигналу;
- суттєвої залежності точності вимірювань від умов їхнього виконання.

З урахуванням конструктивних особливостей і технічних можливостей

мобільних комплексів радіомоніторингу їхнє застосування для виконання завдань щодо вимірювання параметрів радіовипромінювання вважається недоцільним і невиправданим.

**Частота** радіовипромінювання визначається:

- за умови застосування методу спектрального аналізу - як частота, що відповідає максимальному складнику спектра сигналу, що контролюється;
- за умови прослуховування контрольованого сигналу - як частота, що відповідає його найкращій якості (наприклад, розбірливості мови).

**Ідентифікація** радіовипромінювання здійснюється за результатами прослуховування сигналів телефонії та сигналів передавачів персонального й радіостанцій КХ зв'язку.

**Визначення азимуту** на ДРВ на частотах до 30 МГц ускладнюється через особливості поширення КХ, які визначають різні конфігурації можливих траєкторій поширення радіохвиль між двома пунктами, розташованими на поверхні Землі:

- пряма лінія (на відстані прямої видимості);
- дуга, паралельна поверхні Землі (земна або поверхнева хвиля);
- промені, відбиті від регулярних та нерегулярних шарів іоносфери (іоносферні чи просторові хвилі).

Ще одним фактором, який ускладнює радіопеленгування в діапазоні КХ, є

обмежені можливості щодо створення вузьконаправлених АС, здатних сканувати простір за всіма напрямками.

Лінії пеленгів, які визначаються за просторовою хвилею, можуть змінюватися за випадковим законом, але з певним розподілом. Очевидно, що при цьому вища точність пеленгування може бути досягнута в разі отримання та статистичного оброблення значних обсягів результатів пеленгування.

Враховуючи надто великий діапазон змін відстаней зв'язку, що зумовлено застосуванням різних механізмів поширення хвиль в одних і тих самих смугах радіочастот діапазону КХ потрібно зауважити, що вирішення завдання щодо **визначення місцезнаходження** ДРВ досить сумнівне і вважається в межах повноважень однієї Адміністрації зв'язку надто утрудненим.

### 8.3 Системи УКХ радіозв'язку

#### 8.3.1 Загальні відомості про системи УКХ радіозв'язку

Аналоговий УКХ радіозв'язок, як і КХ радіозв'язок, заслужено вважається найстарішим видом зв'язку. Згідно із загальноприйнятою класифікацією діапазон УКХ простирається від 30 МГц до 3 ТГц. У ньому працює безліч радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку (практично всі радіотехнології загального використання), які ґрунтуються на використанні різноманітних методів організації мереж зв'язку та застосуванні різних видів сигналів і різних властивостей поширення радіохвиль.

Функціонування систем УКХ зв'язку базується на використанні різних властивостей поширення радіохвиль у різних піддіапазонах діапазону УКХ:

- дальнього поширення радіохвиль за рахунок їх тропосферного розсіювання, яке спостерігається, переважно, у верхній частині метрового (понад 100 МГц), дециметрового (від 300 МГц до 3000 МГц) та в частині сантиметрового діапазонів радіохвиль;

- розсіювання радіохвиль внаслідок неоднорідностей іоносфери (наприклад, у шарі *D* або в нижній частині шару *E* за рахунок неоднорідності електронної концентрації), що спостерігається, переважно, в діапазоні частот від 30 МГц до 60 МГц;

- прямолінійного поширення радіохвиль.

Тропосферні лінії зв'язку реалізуються, переважно, із застосуванням радіорелейних систем передавання на відстанях між станціями до (300 -500) км, і, через значне згасання відбитих від тропосфери електромагнітних хвиль, вимагають досить великих потужностей передавачів (від 1 кВт до 50 кВт). Іоносферне розсіювання доцільно використовувати для забезпечення зв'язку з важкодоступними районами.

Основне призначення систем аналогового УКХ радіозв'язку - це забезпечення зв'язку між двома пунктами на **відстані прямої видимості** [10].

Така цільова направленість ґрунтується на тому, що в діапазоні УКХ провідність іоносфери виражена досить слабо. Її діелектрична проникність настільки близька до діелектричної проникності нижніх шарів атмосфери, що УКХ проходять через іоносферу без заломлення, достатнього для відбивання в напрямку до Землі. Таким чином, у більшій частині діапазону УКХ зв'язок за рахунок використання відбитих іоносферних хвиль реалізується досить рідко (переважно у військовій сфері), незважаючи на мінімальні втрати в іоносфері енергії випромінювання.



Якщо висота розміщення над поверхнею Землі передавальної та приймальної антен досить велика, а їхні ДН вузькі, то радіозв'язок здійснюється за рахунок прямих променів, які поширюються як у вільному просторі.

Згідно з класифікацією, наведеною в [19], до систем УКХ радіозв'язку відносяться:

- системи аналогового УКХ радіотелефонного зв'язку;
- системи безпосереднього аналогового УКХ зв'язку.

Для цих категорій систем зв'язку (крім аматорської радіослужби) в Україні виділені такі смуги радіочастот [19]:

- від 30 МГц до 47 МГц;
- парні смуги частот шириною 0,5 МГц у діапазонах 300 МГц/336 МГц, шириною 0,7 МГц у діапазонах 301 МГц/337 МГц, шириною близько 1 МГц у діапазонах 307 МГц/343 МГц, шириною 3 МГц у діапазонах 450 МГц/460 МГц і шириною 7 МГц у діапазонах 413 МГц/420 МГц;
- окремі смуги частот у діапазонах (47 - 49) МГц, (56 - 58) МГц, (150-168,5) МГц, (440 - 450) МГц.

В системах УКХ зв'язку переважно використовується ЧМ, що зумовлено декількома її перевагами, зокрема, тим, що потужність передавача практично не змінюється під час модуляції сигналу, а є постійною і відповідає піковій (тоді як, наприклад, потужність передавача з АМ на несучій частоті менша в чотири рази за пікову).

Зазначені категорії систем зв'язку на практиці представлені такими РЕЗ і системами:

- стаціонарні, возимі та носимі радіостанції;
- система багатоканального телефонного радіозв'язку з невиділеним каналом управління „Алтай" та її різновид „ВОЛЕМОТ";
- системи, що використовуються для забезпечення конвенціонального (безпосереднього) зв'язку абонентів;
- радіостанції, що використовуються для забезпечення зв'язку в межах певної групи користувачів-абонентів.

РЕЗ, що функціонують у діапазоні УКХ, представляють собою звичайні радіостанції з вузькосмуговою ЧМ, які можуть застосовуватися з технологічною метою на територіях із незначною віддаленістю об'єктів зв'язку (до 4 км). При цьому, як правило, застосовується симплексний (почерговий) режим роботи на одній частоті.

Мережа радіозв'язку для певної групи користувачів-абонентів організовується в разі необхідності забезпечення зв'язку в умовах великих виробничих комплексів, а також у межах великих міст (на відстанях до (30 - 50) км). Для організації такої мережі може використовуватися диспетчерська станція (за умови організації радіальної схеми зв'язку) або ретранслятор. Для забезпечення роботи в таких мережах (особливо в останньому випадку) необхідне використання двох частот із рознесенням від 3 МГц до 10 МГц (дуплекс, для абонентів - напівдуплекс).

Окрему увагу привертають системи безпосереднього УКХ радіозв'язку, призначені для забезпечення зв'язку між фізичними особами без підключення до мереж загального користування та проміжного обладнання. Цей вид зв'язку відноситься до системи **конвенціонального радіозв'язку**, зв'язок в якій організується шляхом застосування портативних (носимих) або возимих

малопотужних радіостанцій, які забезпечують зв'язок між окремими абонентами на досить малих відстанях.

Характерною ознакою цих систем є забезпечення рівного доступу всіх користувачів до всіх частотних каналів, за рахунок чого забезпечується ЕМС із РЕЗ інших користувачів. Такі радіостанції застосовуються в мережах технологічного зв'язку із закріпленням певних частотних каналів за окремими користувачами. Нині суттєвого поширення серед зазначеного виду РЕЗ УКХ зв'язку набули радіостанції типу „Уокі-Токи” (Walkie Talkie), які забезпечують:

- практично миттєве з'єднання з будь-яким абонентом;
- організацію конференц-зв'язку для групи абонентів;
- простоту експлуатації.

Максимальна потужність радіостанцій „Уокі-Токи” не перевищує 4 Вт, що дозволяє забезпечити зв'язок у зоні прямої видимості на відстані до 4 км. В Україні робота такого класу РЕЗ дозволена у смузі частот від 446,0 МГц до 446,1 МГц із обмеженням максимальної вихідної потужності передавача рівнем 0,5 Вт [19].

Система радіально-зонового зв'язку „Алтай” працює у смугах частот від 300 МГц до 308 МГц (на передавання) і від 336 МГц до 344 МГц (на приймання) з дуплексним рознесенням 36 МГц і канальним рознесенням 25 кГц. В Україні для систем радіально-зонового зв'язку „Алтай” виділені парні смуги частот (301,125-305,825) МГц/(337,125 - 341,825) МГц.

Структурно система „Алтай” складається із розташованої в населеному пункті однієї центральної (базової) станції з 22 стволами, кожен з яких має 8 частотних каналів з окремими передавачами. Абонентські станції можуть працювати в будь-якому частотному каналі, при цьому вільний канал визначається автоматично.

В системі „Алтай” використовується ЧМ. Одна базова станція обслуговує від 500 до 800 рухомих абонентів. За своїми функціональними можливостями система здатна забезпечити:

- надання послуг телефонного зв'язку з виходом у міську телефонну мережу загального користування;
- безпосереднє з'єднання абонентів, обминаючи телефонну мережу загального користування;
- доступ до мережі Internet зі швидкістю передавання даних до 30 кбіт/с.

Крім системи „Алтай” у цій же смузі частот працюють системи „ВОЛЕМОТ” (за назвами міст, де вона була упроваджена: Воронеж, Ленінград, Молодечно, Тернопіль) і „Алтай-МРТ”, які мають такі ж технічні характеристики, але розширені функціональні можливості.

Радіостанції УКХ зв'язку застосовують сигнали з класами радіовипромінювання [119, 120]:

- G2B* в режимі передавання телеграфної інформації (зі швидкістю 100 Бод) або цифрової інформації (зі швидкістю 1200 Бод);
- F3E, G3E* в режимі телефонії.

Частотне рознесення між сусідніми каналами становить 25 кГц.

В разі застосування дуплексного режиму рознесення між частотами приймання та передавання становить одиниці мегагерц (наприклад, 4,6 МГц для берегових УКХ радіостанцій „Риф”).

Технічні параметри ЧМ сигналу УКХ передавача наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 - Технічні параметри ЧМ сигналу УКХ передавача

Назва параметра	Значення параметра		
Максимальна девіація $\Delta f_{\max}$ , кГц	3	6	12
Індекс модуляції $m$ для частоти модулюючого сигналу $F= 3$ кГц	1	2	4
Ширина спектра на рівні мінус 34 дБ, кГц	12	24	36

В системах „Алтай" та „ВОЛЕМОТ" використовуються радіосигнали з класами радіовипромінювання  $F3E$ ,  $G3E$ . Приклад спектра сигналу передавача базової станції системи „Алтай" наведений на рис. 8.3. Вихідна потужність передавачів у цих системах не більша 15 Вт. Радіус зони радіопокриття базової станції для носимих дуплексних радіостанцій не перевищує 7 км, для возимих радіостанцій - 40 км. Для забезпечення доступності зв'язку в мережах системи „Алтай" уведено обмеження тривалості розмов до 5 хв.

Основні особливості організації мереж УКХ зв'язку в Україні такі:

- 1) досить велика різноманітність видів РЕЗ, які експлуатуються в діапазоні УКХ:
  - стаціонарні, возимі, носимі та портативні радіостанції;
  - абонентські та базові станції систем радіально-зонового зв'язку „Алтай";
- 2)досить широкий діапазон частот роботи радіостанцій УКХ зв'язку (від 30 МГц до 108 МГц);
- 3)досить великий діапазон значень вихідної потужності передавачів (від 0,1 Вт до 50 Вт);
- 4)значні відстані зв'язку (від 5 км до 50 км у залежності від потужності передавачів);
- 5)великий рівень напруженості поля, що зумовлено низькою чутливістю РПП (порівняно з РЕЗ, які використовують нові види сигналів);
- 6)наявність випромінювання лише під час передавання сигналів (телеграфії, мовної чи цифрової інформації);
- 7)застосування переважно ЧМ сигналів, що дозволяє дуже просто ідентифікувати випромінювання шляхом прослуховування каналів;
- 8)можливість застосування режиму стрибкоподібної зміни робочої частоти (до 100 стрибків) і шифрування сигналу (шляхом застосування криптографічних методів захисту інформації") з метою виключення несанкціонованого перехоплення повідомлень і збільшення рівня завадостійкості;
- 9) строго визначені просторові напрямки роботи стволів базової станції та неможливість перестроювання робочих частот каналів у системі „Алтай";
- 10) кругові зони радіопокриття, зумовлені застосуванням антен із круговими ДН.

### 8.3.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ УКХ зв'язку

Радіомоніторинг у робочих смугах частот відмічених систем УКХ зв'язку може проводитися на підставі:

- планових та позапланових завдань;
- заяв користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;

- угод з користувачами щодо проведення технічного радіоконтролю;
- запитів щодо перевірки результатів розрахунків умов ЕМС.

За результатами аналізу зазначених особливостей організації зв'язку та технічних характеристик і параметрів радіосигналів РЕЗ УКХ зв'язку можна відмітити, що для забезпечення технічного радіоконтролю випромінювань РЕЗ у цьому діапазоні частот у переважній більшості випадків доцільно застосовувати **мобільні та портативні засоби** радіоконтролю.

Враховуючи те, що випромінювання передавачів радіостанцій у діапазоні УКХ присутні тільки під час передавання сигналів, то їх **виявлення** можливе лише в разі тривалого спостереження на певних частотах (у смугах частот).

**Визначення місцезнаходження** УКХ передавачів здійснюється методом сукупного оброблення послідовності значень пеленгів на ДРВ, отриманих вздовж маршруту МКРМ. В разі застосування портативного обладнання пеленгування місцезнаходження передавача визначається тріангуляційним методом як точка перетину кількох пеленгів на визначеній частоті, отриманих із різних територіально рознесених місць. За наявності в межах території населеного пункту лише одного передавача системи „Алтай”, як це часто має місце на практиці, визначати його місцезнаходження, напевно, не має сенсу.

Під час проведення технічного радіоконтролю випромінювань передавачів системи аналогового УКХ зв'язку визначаються:

- несуча частота;
- напруженість електромагнітного поля;
- ширина займаної смуги частот;
- клас радіовипромінювання;
- девіація частоти.

**Несуча частота** вимірюється класичним методом як така, що відповідає максимальному складнику спектра сигналу.

**Ширина займаної смуги частот** для класів радіовипромінювання  $F3E$  і  $G3E$ , визначається методом вимірювання за критерієм  $X$  дБ на рівні мінус 26 дБ [14]. В окремих випадках, за умов значного відношення сигнал/шум (у разі застосування направлених антен) вона може вимірюватися за критерієм відношення потужностей ( $\beta/2$ -методом).

Вимірювання **напруженості електромагнітного поля** з використанням портативного обладнання (наприклад, аналізатора спектра) повинно проводитися із застосуванням режиму лінійно або логарифмічно усередненої функції детектора (як це визначено для ЧМ сигналів [1, 121]).

**Девіація частоти** визначається лише автоматизованими розрахунковими методами спектрального аналізу (вимірювання спектра) радіосигналу.

## 8.4 Системи аналогового звукового мовлення

### 8.4.1 Загальні відомості про системи аналогового звукового мовлення

Системи звукового мовлення призначені для розповсюдження серед великого загалу абонентів (населення, що проживає на певній території) звукової інформації, організованої в тематичні програми інформаційного, політичного, культурно-пізнавального та рекламного характеру [122]. Системи звукового мовлення представляють собою організаційно-технічні комплекси, які забезпечують формування та передавання звукової інформації загального

користування. За принципом формування та оброблення сигналів ці системи поділяються на аналогові та цифрові.

Програми звукового мовлення доставляються до передавачів мережами фіксованого (радіорелейного), супутникового або проводового зв'язку, а також створюються апаратно-студійними комплексами, які входять до складу трактів формування програм. Надходження програм звукового мовлення до користувачів (слухачів) забезпечується за рахунок випромінювання радіосигналів у простір і наступного їхнього приймання абонентськими приймачами. При цьому, як правило, застосовується регіональний принцип побудови мережі розповсюдження програм звукового мовлення, який зображений на рис. 8.4.

В Україні для систем наземного аналогового звукового мовлення виділені смуги радіочастот у діапазонах [19]:

- НЧ (від 148,5 кГц до 283,5 кГц);
- СЧ (від 526,5 кГц до 1606,5 кГц);
- ВЧ (від 2,3 МГц до 26,1 МГц);
- ДВЧ (від 65,9 МГц до 74 МГц і від 87,5 МГц до 108 МГц).

Смуга частот від 68 МГц до 74 МГц виділена на первинній основі радіомовній, фіксованій і рухомій службам. Крім того, смуга частот від 73 МГц до 74,0 МГц може використовуватися радіоастрономічною службою.

У разі спільного використання цієї смуги частот:

1) РЕЗ звукового мовлення не повинні створювати завади радіоастрономічній службі;

2) окремі смуги частот у цьому діапазоні можуть виділятися в установленому порядку для впровадження радіотехнологій згідно зі стандартами НАТО.

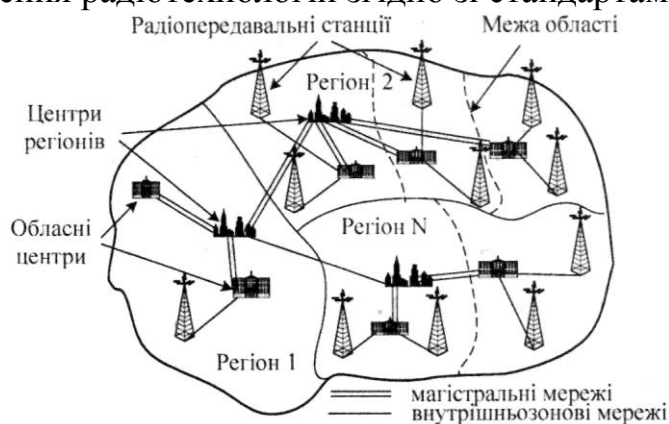


Рис. 8.4. Регіональний принцип побудови мережі розподілення програм звукового мовлення

Окремі смуги частот у діапазоні від 87,5 МГц до 108 МГц можуть бути додатково виділені для потреб спеціальних користувачів, а також для рухомої, морської рухомої, повітряної рухомої та повітряної радіонавігаційної служб.

Системи аналогового звукового мовлення, які працюють у діапазоні ДВЧ, можуть бути монофонічними та стереофонічними. У монофонічній системі звукового мовлення звукова інформація надходить для подальшого оброблення від одного джерела й відтворюється акустичною системою радіоприймача як звук, що генерується локально-зосередженим джерелом. У стереофонічній системі звукового мовлення звукова інформація надходить від двох рознесених на певну відстань джерел, що надає відтвореному звуковому сигналу об'ємного звучання.

Із сучасних радіотехнологій найпоширенішими є такі, що відповідають східноєвропейському стандарту OIRT (International Organization of Radio and

Television) або західноєвропейському стандарту CCIR (International Radio Consultative Committee).

Для стандарту **OIRT** виділена смуга частот від 65,4 МГц до 74 МГц із номінальною девіацією частоти 50 кГц і діапазоном звукових частот, що передаються, від 31,5 Гц до 15 кГц. Ширина смуги частот в режимі монофонічного мовлення сягає 130 кГц.

У стереофонічному режимі застосовується полярна АМ для створення комплексного стереосигналу.

Суть полярно модульованих коливань полягає в тому, що обвідна верхніх напівперіодів піднесучої частоти несе інформацію про модульовальні сигнали одного (лівого) джерела, а нижня обвідна - про модульовальні сигнали другого (правого) джерела. Згідно з діючими стандартами сигнали лівого й правого джерел звуку позначаються символами А та В.

Піднесуче коливання з полярною модуляцією  $U_{n.n.}(t)$  описується виразом

$$U_{n.n.}(t) = (U_A + U_B) + (U_A - U_B) \cos \omega_{n.n.} t, \quad (8.1)$$

причому

$$U_A = U_m (1 + m_A \cos \Omega_A t), \quad (8.2)$$

$$U_B = U_m (-1 + m_B \cos \Omega_B t), \quad (8.3)$$

де  $U_m$  - амплітуда піднесучих коливань із частотою  $\omega_{n.n.}(t)$ ;

$m_A$  і  $m_B$  - глибина модуляції піднесучих коливань сигналами каналів відповідно А і В;

$\Omega_A$  і  $\Omega_B$  - колові (циклічні) частоти сигналів А і В.

З виразу (8.1) випливає, що комплексний стереосигнал складається з тонального та надтонального складників. Для моментів часу, коли  $\cos \omega_{n.n.} t = 1$  коливання (8.1) представляє подвоєний сигнал каналу А, а в моменти часу, коли  $\cos \omega_{n.n.} t = -1$  - подвоєний сигнал каналу В. У паузах, якщо  $m_A = 0$  і  $m_B = 0$ ,  $U_{n.n.} t = 2U_m \cos \omega_{n.n.} t$ , що суттєво зменшує динамічний діапазон передавання сигналу. З метою розширення динамічного діапазону сигнали на піднесучих частотах ослаблюють на 14 дБ. Крім того, у стереомодуляторі для підвищення завадостійкості збільшують рівні верхніх звукових частот. Смуга частот, зайнятих для передавання стереосигналу, становить 192,5 МГц.

В західноєвропейському стандарті **CCIR** для звукового мовлення виділена смуга частот від 87,5 МГц до 108 МГц із девіацією частоти 75 кГц. Діапазон модульованих звукових частот становить від 40 Гц до 15 кГц. У монофонічному режимі ширина смуги частот сигналу становить 180 кГц.

У стереофонічному режимі використовують систему з пілот-тоном, в якій коливання піднесучої частоти майже повністю подавлені - не менше ніж на 40 дБ. Для відновлення коливань піднесучої частоти (38000 Гц) використовують пілот-сигнал, частота якого становить  $(19000 \pm 2)$  Гц. Загальна смуга частот для стандарту CCIR у стереофонічному режимі становить 256 кГц. Спектри стереофонічних сигналів стандартів OIRT і CCIR зображені на рис. 8.5. На рис. 8.5, а наведено спектр полярно модульованих коливань, на рис. 8.5, б - спектр стереофонічного сигналу з пілот-тоном [123, 124].

Сигнали лівого й правого джерел звуку позначаються символами  $L$  і  $R$ .

Піднесучі коливання за амплітудою в комплексному стереофонічному сигналі досягають значень не більших за 1 % від можливого рівня для АМ.

У діапазоні ДВЧ передавачі систем звукового мовлення створюють ЧМ

сигнали чотирьох класів радіовипромінювання:

- *130KF3EGN*- монофонічне звукове мовлення за стандартом OIRT;
- *180KF3EGN*- монофонічне звукове мовлення за стандартом CCIR;
- *192K5F8EHN*- стереофонічне звукове мовлення за стандартом OIRT;
- *256KF8EHN*- стереофонічне звукове мовлення за стандартом CCIR.

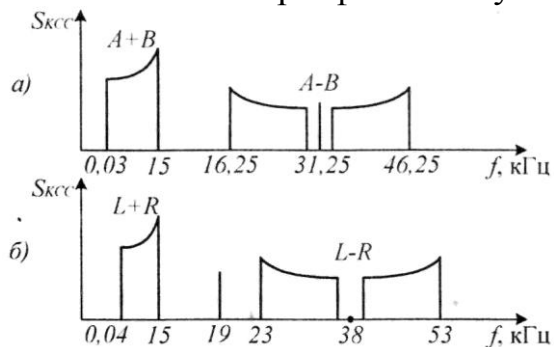


Рис. 8.5. Спектри комплексних стереосигналів

Отже, в монофонічному звуковому мовленні використовуються сигнали одного виду модуляції, але з різною необхідною шириною смуги частот -130 кГц і 180 кГц. У стереофонічному звуковому мовленні також використовуються сигнали одного виду модуляції, які відрізняються шириною смуги частот, значення якої становить 192,5 кГц (для стандарту OIRT) і 256 кГц (для стандарту CCIR). Ширина необхідної смуги частот  $B_n$  сигналів цих класів радіовипромінювання обчислюється за формулою

$$B_n = 2M + 2D, \quad (8.4)$$

де  $M$ — максимальна частота модулювальних коливань;

$D$  - пікове значення девіації частоти (швидкість зміни фази несучих коливань).

Найважливішими параметрами сигналів, які визначають як характер сигналів, так і можливості їхнього впливу на випромінювання інших джерел електромагнітного поля, є несуча частота, девіація частоти, ширина контрольної смуги частот та ширина необхідної смуги частот.

Інформація про ширину необхідної смуги частот зафіксована в позначенні класу радіовипромінювання і, взагалі, для сигналів з аналоговими ЧМ коливаннями обчислюється дуже просто за формулою (8.4). Значно складніша ситуація з визначенням ширини контрольної смуги частот сигналу. Так, наприклад, згідно з ГОСТ 18633 [124] ширина контрольної смуги частот стереофонічного сигналу за стандартом OIRT становить 179400 Гц, тоді як ширина необхідної смуги частот дорівнює 192500 Гц. Очевидно, що це тиражована помилка. У стандартах CCIR взагалі відсутні нормативні вимоги до значення ширини контрольної смуги частот для сигналів звукового мовлення діапазону ДВЧ [53, 66, 80].

Отже, на сучасному етапі розвитку нормативної бази регламентовані частоти випромінювання і встановлені вимоги до їхньої точності та стабільності, регламентовані максимальні значення девіації частоти та чітко визначена ширина необхідної смуги частот для кожного класу радіовипромінювання. Значення ширини контрольної смуги частот може бути визначено за результатами побудови обмежувальної лінії спектра сигналу.

Вихідними даними для обчислення реперних точок обмежувальної лінії, є три нормовані величини:

- а) ширина необхідної смуги спектра сигналу  $B_n$  яка для сигналів класів радіовипромінювання *F3E* і *F8E* знаходиться на рівні мінус 26 дБ [14];

б) відношення ширини контрольної смуги сигналу  $B_x$  до ширини необхідної смуги монофонічного сигналу  $B_{,,}$ , яке дорівнює значенню 1,15 [61];

в) відношення  $B_x$  до  $B_H$  яке для стереофонічного сигналу більше від такого ж відношення для монофонічного сигналу на 20 % [61].

У табл. 8.2 наведені формули для обчислення значень ширини смуг частот  $B$ , для типових рівнів  $X$  дБ, які опубліковані в науково-технічній літературі з питань ЕМС, зокрема, в [125], і в нормативних документах [14].

Таблиця 8.2 - Формули для розрахунку ширини смуги частот  $B_x$

Рівень $X$ дБ					Примітка
-20	-30	-40	-50	-60	
$6m'M$	$(6,7m'+2)M$	$(7,8m'+3)M$	$(8,4m'+4,4)M$	$(9m' + 6)M$	1
$6m'M$	$(7m'+2)M$	$(7,8m'+3)M$	$(8,4m' + 6)M$	$(8,8m' + 8)M$	2
Примітка 1. $0.5 \leq m' \leq 1,3$ Примітка 2. $m' > 1,3$					

У наведених формулах використані такі позначення:

$M$ - максимальна частота модульованих коливань;

$m' = D / (p M)$  - ефективний індекс модуляції;

$D$  - пікове значення девіації частоти;

$p$ — пік-фактор.

Розраховані значення ширини смуги частот  $B_x$  для типових рівнів  $X$  дБ спектра сигналу деяких класів радіовипромінювання наведені в табл. 8.3.

Обмежувальні лінії спектрів сигналів класів радіовипромінювання  $130KF3E$ ,  $180KF3E$ ,  $192K5F8E$  і  $256KF8E$  зображені на рис. 8.6.

Рівень 0 дБ для сигналів класів радіовипромінювання  $F3E$  і  $F8E$  визначають за інтенсивністю немодульованих коливань несучої частоти.

Реальні спектри сигналів передавачів аналогового звукового мовлення на частотах 73,6 МГц і 99 МГц зображені відповідно на рис. 8.7. і рис. 8.8.

В системах аналогового звукового мовлення діапазонів НЧ і СЧ застосовується аналогова АМ та єдина сітка радіочастот із рознесенням 9 кГц. При цьому нижня модульовальна частота становить 150 Гц, а верхня модульоваль-на частота повинна бути не більше 4,5 кГц. У діапазоні НЧ існує 15 каналів, частота першого каналу становить 155 кГц. У діапазоні СЧ використовується 120 частотних каналів, частота першого каналу дорівнює 561 кГц. Рознесення між несучими частотами становить 10 кГц.

Таблиця 8.3 -Значення ширини смуги частот  $B_x$

Клас радіовипромінюва	Рівень $X$ дБ				
	-20	-30	-40	-50	-60
$130KF3E$	106,2	148,6	183,0	214,7	249,3
$180KF3E$	149,4	204,3	254,2	299,2	339,1
$192K5F8E$	139,0	247,4	319,1	397,7	485,6
$256KF8E$	184,5	312,0	398,8	491,4	594,7



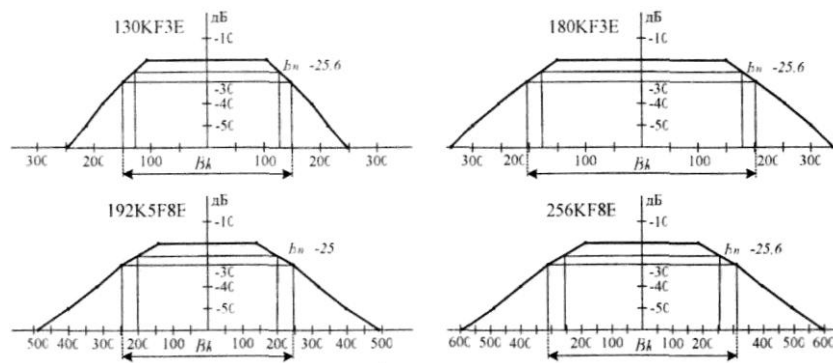


Рис. 8.6. Обмежувальні лінії спектрів сигналів класів радіовипромінювання *130KF3E*, *180KF3E*, *192K5F8E*, *256KF8E*

В діапазонах ВЧ і ДВЧ застосовується ЧМ.

В останні роки в системах ЧМ звукового мовлення використовується режим передавання додаткової інформації на додаткових піднесучих частотах за рахунок застосування ущільнення мовного каналу.

Для нижнього УКХ діапазону стандарт ОСТ 45.125 [126] регламентує застосування ущільнення мовного каналу УВК-2 з двома піднесучими частотами 46,875 МГц та 78,125 МГц і систему „Радіотекст” на піднесучій частоті 46,875 МГц у стандартах мовлення.

Для систем стандарту CCIR дозволено застосування:

- системи передавання даних RDS (Radio Data System);
- ущільнення мовного каналу УВК-2 (лише на піднесучій частоті 78,125 МГц);
- системи передавання дорожньої інформації AIR (Autofahrer Rundfunk Information);
- системи передавання додаткової інформації SCA (Subcarrier Communication Allocation);
- системи високошвидкісного передавання даних DARC (DAta Radio Channel).

В режимі стереофонічного ЧМ мовлення у смузі частот від 87,5 МГц до 108 МГц із девіацією частоти 75 кГц і частотним ущільненням системи RDS та із застосуванням телефонного каналу шириною 16 кГц використовується радіосигнал із класом радіовипромінювання *300KF9EHF*, в режимі стереофонічного мовлення у смузі частот від 65,9 МГц до 74 МГц із девіацією частоти 50 кГц і застосуванням системи RDS і телефонного каналу - радіосигнал із класом радіовипромінювання *180KF3EHN*.

Для якісного приймання сигналів ЧМ мовлення мінімальне значення напруженості електромагнітного поля повинно становити [130]:

- за межами населених пунктів для монофонічного режиму -48 дБмкВ/м, для стереофонічного режиму - 54 дБмкВ/м;
- в межах населених пунктів, з урахуванням додаткових радіозавод, для монофонічного режиму - 70 дБмкВ/м, для стереофонічного режиму -74 дБмкВ/м.

До основних особливостей організації мереж зв'язку й технічних параметрів випромінювання передавачів систем аналогового звукового мовлення можна віднести:

- 1) значні зони радіопокриття (радіусом від 10 км до 35 км);
- 2) великі вихідні потужності передавачів (від 30 Вт до 5 кВт);

3) застосування радіосигналів із простими видами модуляції (АМ в діапазонах НЧ і СЧ, ЧМ в діапазоні ДВЧ), що дозволяє використовувати відповідно прості методи демодуляції коливань для забезпечення ідентифікації випромінювання та передавачів шляхом прослуховування програм;

4) досить великі розміри передавальних антен, що дозволяє визначати місцезнаходження передавачів візуально;

5) досить великі рівні сигналів, що зумовлено пред'явленням невисоких вимог до мінімально необхідних рівнів напруженості поля внаслідок низької чутливості побутових аналогових приймачів звукового мовлення;

6) наявність передавачів систем аналогового звукового мовлення в більшості населених пунктів України;

7) наявність у певному пункті на певній частоті переважно одного передавача;

8) організація радіозв'язку в одному напрямку - від передавача до абонентського приймача.

#### **8.4.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ систем аналогового звукового мовлення**

Моніторинг у робочих смугах радіочастот передавачів систем аналогового звукового мовлення може проводитися:

- у процесі виконання планових і (або) позапланових завдань;
- на підставі заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- для перевірки результатів розрахунків умов ЕМС;
- на підставі угод з користувачами щодо проведення технічного радіоконтролю;
- для визначення реального стану використання РЧР (зайнятості частот і смуг частот) та наявності вільного для використання РЧР.

Радіомоніторинг проводиться із застосуванням:

- стаціонарних засобів-у межах великих населених пунктів;
- мобільних засобів - на решті території, а також для уточнення параметрів радіовипромінювання та пошуку джерел радіозавад.

Процедура радіомоніторингу в смугах частот, виділених для систем аналогового звукового мовлення полягає у:

- виявленні потрібного радіовипромінювання;
- просторовій локалізації джерела радіовипромінювання;
- інструментальному оцінюванню параметрів радіовипромінювання;
- ідентифікації радіовипромінювання та його передавача;
- перевірці легітимності роботи певного передавача та відповідності значень параметрів його радіовипромінювання вимогам дозвільних документів і нормам на ці параметри;

- визначенні ступеня використання РЧР у зазначених смугах частот.

**Виявлення** радіовипромінювання проводиться шляхом спостереження за спектром в заданих смугах частот. Рішення стосовно наявності радіовипромінювання приймається в разі, якщо рівень (або відношення сигнал/шум) сигналу, що спостерігається, перевищує встановлений (заданий) поріг. У зв'язку з відсутністю у відомій науково-технічній літературі інформації щодо значень такого рівня (відношення сигнал/шум) прийняття рішення покладається на оператора й залежить від завдання, що вирішується:

- установа факту наявності радіовипромінювання;

- проведення інструментального оцінювання ширини смуги частот;
- оцінювання зайнятості частот (смуг частот).

В першому випадку рішення стосовно наявності радіовипромінювання може бути прийнятим, якщо відношення сигнал/шум становить більше 3 дБ. Для забезпечення прийнятної точності вимірювання ширини смуги частот відношення сигнал/шум зазвичай має бути не меншим, ніж 30 дБ. В останньому випадку це відношення визначається рівнем, який задається для оцінювання зайнятості.

**Просторова локалізація** ДРВ здійснюється за допомогою радіопеленгаторів і проводиться шляхом пеленгування ДРВ та визначення його місцезнаходження.

В разі застосування МКРМ з функцією радіопеленгування місцезнаходження передавача визначається із застосуванням методу так званої „широкоапертурної антени“, що вимагає ретельного вибору маршруту руху мобільного комплексу із метою мінімізації кількості перепон уздовж траси.

При цьому інтенсивність сигналу ДРВ повинна бути достатньою для його виявлення та вимірювання параметрів із необхідною якістю. Уточнення щодо конкретного місця знаходження передавача аналогового звукового мовлення здійснюється візуально за розташуванням його антени.

В дозволі на експлуатацію РЕЗ аналогового звукового мовлення вказуються такі технічні параметри передавача та його АФС:

- несуча частота;
- потужність передавача;
- ширина смуги частот радіовипромінювання;
- клас радіовипромінювання;
- вид поляризації;
- ефективна випромінювана потужність;
- система передавання;
- позивний сигнал;
- характеристики направленості антени та параметри фідерного тракту.

З урахуванням того, що в різних діапазонах частот застосовуються різні види модуляції (в діапазонах НЧ і СЧ - АМ, у діапазонах ВЧ і ДВЧ - ЧМ), можна відмітити, що до складу інформації, яка підлягає інструментальному оцінюванню (вимірюванню) та визначенню, повинні входити такі дані:

- несуча частота (номінал частоти, номер частотного каналу);
- ширина смуги частот;
- напруженість електромагнітного поля та рівень сигналу;
- характеристики модуляції (девіація частоти в діапазонах ВЧ і ДВЧ та глибина модуляції в діапазонах НЧ і СЧ);
- позивний сигнал.

Крім того, під час проведення моніторингу у смугах частот, виділених для зазначеної категорії РЕЗ, може оцінюватися **зайнятість частотних каналів і смуг частот**.

Номінальні значення ширини контрольної смуги частот для різних класів радіовипромінювання в системах аналогового звукового мовлення наведені в табл. 8.4.

Таблиця 8.4 - Номінальні значення ширини контрольної смуги частот

Клас радіовипромінюван ня	130KF3EGN	180KF3EGN	192K5F8EHN	256KF8EHN
---------------------------------	-----------	-----------	------------	-----------

Ширина контрольної смуги, кГц	149	204	247	312
-------------------------------------	-----	-----	-----	-----

**Несуча частота** вимірюється методом спектрального аналізу і визначається як така, що відповідає максимальному складнику спектра сигналу, або як центральна частота ширини займаної смуги частот.

**Напруженість електромагнітного поля** визначається за максимальним значенням сигналу. В разі використання портативного обладнання (наприклад, аналізатора спектра) напруженість поля доцільно оцінювати із застосуванням режиму лінійно або логарифмічно усередненої функції детектора [1]. Найкритичнішими є вимоги до інструментального оцінювання напруженості поля під час проведення технічного радіоконтролю мобільними та портативними засобами, тому що їхні результати використовуються для оцінювання зон радіопокриття передавачів.

**Девіація частоти** в діапазонах ВЧ і ДВЧ визначається класичним розрахунковим методом за результатами спектрального аналізу радіосигналу з урахуванням того, що:

- вимірювання девіації частоти виконуються дистанційно у звичайному штатному режимі роботи передавачів;
- значення девіації частоти залежить від ширини спектра сигналу, що передається, тому девіація досягає свого максимального значення під час передавання музикальних програм;

Рекомендується проводити вимірювання девіації частоти під час передачі концерту симфонічного оркестру.

**Ширина смуги частот** визначається методом вимірювання за критерієм X дБ на рівні мінус 26 дБ [14].

**Зайнятість смуг частот** у робочих діапазонах передавачів аналогового звукового мовлення оцінюється із застосуванням стаціонарних або мобільних засобів радіомоніторингу.

Не зважаючи на те, що до складу параметрів, які повинні визначатися в процесі технічного радіоконтролю, включена також „глибина модуляції”, на практиці цей параметр не вимірюється.

## **8.5 Системи цифрового звукового мовлення**

### **8.5.1. Загальні відомості про системи цифрового звукового мовлення**

Як і системи аналогового звукового мовлення, системи цифрового звукового мовлення призначені для поширення серед населення звукових програм, іншої звукової, текстової та службової інформації й представляють собою організаційно-технічні комплекси, які забезпечують формування та передавання цифрової інформації великому загалу територіально розподілених абонентів (слухачів) [1, 122, 128-130].

Необхідність переходу від аналогового звукового мовлення до цифрового пояснюється двома причинами:

- 1) вимогами щодо забезпечення високої якості звукової інформації (на рівні стаціонарних приймачів) за умов рухомого приймання;
- 2) підвищеними вимогами з боку слухачів (абонентів) до якості передач, які пов'язані з появою в них потреби у прийманні інформації з високоякісним звучанням, порівняним із якістю звучання компакт-дисків (CD).

Основні технічні переваги систем цифрового звукового мовлення над

аналоговими такі:

- менша чутливість до впливу радіозавад;
- вища ефективність використання РЧР за рахунок можливості передавання більшої кількості звукових програм в одному блоці;
- менші вихідні потужності передавачів за однакових розмірів зон обслуговування, наприклад, у системах цифрового звукового мовлення ефективно декодування прийнятих сигналів забезпечується за відношення сигнал/шум 5 дБ, у той же час задовільне приймання аналоговими ДВЧ ЧМ системами реалізується лише за відношення сигнал/шум не менше 40 дБ;
- можливість забезпечення практично повної корекції спотворень, які виникають у тракті передавання;
- можливість приймання звукових програм за наявності селективних завмирань (як за частотою, так і за часом), зумовлених багатопроменевим характером поширення радіохвиль, у тому числі, на рухомих об'єктах (за умови зміни часу приходу сигналів внаслідок їхнього відбивання від місцевих предметів);
- висока технологічність обладнання.

Переваги систем цифрового звукового мовлення ґрунтуються на застосуванні ефективних методів цифрового оброблення та передавання сигналів звукового мовлення. До них відносяться:

- перетворення та кодування сигналів, що дозволяє ефективно усунути надмірність таких сигналів і зменшити швидкість цифрового потоку, що передається, порівняно з методами імпульсно-кодової модуляції (ІКМ);
- завадостійке кодування каналу, що в поєднанні з процедурою перемежовування сигналів за часом і частотою призводить до суттєвого підвищення енергетичної ефективності та завадостійкості;
- застосування новітніх ефективних (щодо використання РЧС) методів модуляції;
- зниження втрат на передавання допоміжної інформації за рахунок використання цифрових методів синхронізації;
- реалізація архітектури системи із шириною спектра частот, яка гнучко змінюється як у діапазоні радіо- так і в діапазоні звукових частот;
- уведення нових, порівняно з аналоговими системами звукового мовлення, видів послуг (передавання текстової та іншої інформації").

Нині у світі використовується досить велика кількість систем цифрового звукового мовлення, які розрізняються методами застосування, зокрема:

- системи наземного цифрового звукового мовлення, які, у свою чергу, розподіляються за діапазонами частот на системи, що працюють у діапазоні частот до 30 МГц та системи, які працюють у діапазонах ДВЧ і УВЧ;
- системи безпосереднього (тобто супутникового) цифрового звукового мовлення з прийманням сигналів звичайним побутовим радіоприймачем;
- комбіновані системи цифрового звукового мовлення, що реалізуються у вигляді змішаних (гібридних) наземних супутникових систем.

До наземних супутникових систем належать системи S-DAB (Media-Star), Sirius Satellite Radio, XM Satellite Radio і Digital System E, які працюють у діапазоні УВЧ.

До систем безпосереднього цифрового звукового мовлення відносяться системи, що працюють як у діапазоні УВЧ (S-DAB (Media-Star), World Space, Sirius Satellite Radio, XM Satellite Radio і Digital System E), так і в діапазоні НВЧ - DSR/DBS (Digital Satellite Radio/Direct Broadcast Satellite) і ADR (Astra Digital Radio).

Найбільшого поширення серед систем наземного цифрового звукового мовлення знайшли чотири технології цифрового звукового мовлення:

- американська система IBAC;
- американська система HD Radio (колишня AM IBOC DBS);
- європейський стандарт T-DAB (Terrestrial Digital Video Broadcasting), який також називається Eureka- 147/DAB;
- система НЧ цифрового мовлення (в діапазоні до 30 МГц) DRM (Digital Radio Mondiale).

Системи IBOC (In-Band On-Channel) та IBAC (In-Band Adjacent Channel) призначені для роботи в діапазонах ДВЧ (від 88 МГц до 108 МГц) і СЧ (від 525 кГц до 1608 кГц). Система IBAC працює в режимі використання сусіднього каналу відносно діючого аналогового ЧМ каналу (режим IBAC) або в режимі резервного каналу (режим IBRC, In-Band Reserved Channel). ЧМ сигнал займає один канал шириною 200 кГц. Система IBOC призначена для роботи в діапазоні ДВЧ, але в каналі, суміщеному з каналом аналогового ЧМ мовлення. Спектр радіосигналу займає дві бічні смуги частот шириною 73,5 МГц кожна (симетрично відносно несучої частоти на віддаленні від 126,5 МГц до 200 МГц від неї) або одну з бічних смуг частот (верхню чи нижню). Але ці системи мають обмежене поширення (використовуються лише в США), тому в подальшому не розглядаються.

### **8.5.2 Система цифрового звукового мовлення стандарту T-DAB**

За визначенням [131] „Система DAB - нова система звукового мовлення, призначена для надання користувачам високоякісних цифрових звукових програм і даних, які будуть передаватися наземними та супутниковими передавачами в діапазонах ДВЧ і УВЧ ... та прийматися автомобільними, переносними і стаціонарними приймачами цифрових сигналів”.

Нині СЕРТ прийнято рішення про використання для систем T-DAB переважно смуг частот діапазону ДВЧ (Band III) - від 174 МГц до 230 МГц і від 230 МГц до 240 МГц та нижньої частини діапазону УВЧ (L-Band) - від 1452 МГц до 1492 МГц [132].

Упровадження систем наземного цифрового звукового мовлення стандарту T-DAB базується на положеннях Багатосторонньої координаційної угоди „Вісбаден-95” стосовно технічних критеріїв, координаційних принципів і процедур її упровадження в смугах частот від 47 МГц до 68 МГц, від 87,5 МГц до 108 МГц, від 174 МГц до 230 МГц, від 230 МГц до 240 МГц і від 1452 МГц до 1492 МГц [133]. За цією угодою Україні були виділені радіочастоти для 25 зон частотного планування цифрового звукового мовлення в діапазоні частот від 230 МГц до 240 МГц і від 1452 МГц до 1492 МГц (блоки 13A-13F метрового діапазону хвиль і кілька блоків L-діапазону). За результатами перегляду угоди „Вісбаден-95” угодою „Маастрихт-Вісбаден-02” передбачена можливість планування систем наземного цифрового звукового мовлення в смугах частот від 47 МГц до 68 МГц (блоки 2A-4D) і від 174 МГц до 230 МГц (блоки 5A-12D).

На підставі Спеціальної угоди „Маастрихт-02” додатково до 25 зон частотного планування Україні виділено ще 58 зон радіочастотного планування для упровадження систем цифрового звукового мовлення в смузі частот від 1452 МГц до 1479,5 МГц (блоки 1-16 L-діапазону) [130].

За принципом організації мереж цифрового звукового мовлення розрізняють

синхронні (в разі роботи кількох передавачів на однакових частотах) і багаточастотні мережі радіомовлення (розгортання останніх в Україні найближчим часом не планується). З точки зору вибору оптимального рішення стосовно ефективності використання радіочастот і потужності передавачів найоптимальнішою є організація одночастотної мережі синхронного мовлення (SFN, Single Frequency Network), в якій усі передавачі працюють на одній частоті.

Зона синхронного мовлення створюється шляхом застосування одного-двох основних передавачів потужністю до 2 кВт і кількох (до 10 - 15) малопотужних (до 100 Вт) передавачів, призначених для поширення мовних програм в області „тіні”. На одній антенній вежі може бути розміщено до 7 АС передавачів, кожен з яких працює у „своїй” смузі частот. Для забезпечення синхронного мовлення передавання програм до передавачів здійснюється з використанням супутникових або радіорелейних каналів зв'язку. Радіус однієї зони синхронного мовлення, як правило, не більший 100 км. За принципами частотного планування розрізняють три основні моделі мереж:

- використання лише одного передавача;
- SFN-мережа станцій із застосуванням ненаправлених передавальних антен (так звана „відкрита мережа”);
- SFN-мережа станцій із застосуванням направлених передавальних антен по периметру зони покриття (так звана „закрита мережа”).

В мережах SFN усі передавачі працюють на одній частоті та випромінюють один і той же набір звукових програм.

Порівняно із системами аналогового звукового мовлення, для яких умови планування задаються, виходячи з необхідності забезпечення покриття 50 % місць у 90 % інтервалів часу E (90, 50), для мереж цифрового звукового мовлення застосовуються більш високі вимоги щодо надійності зв'язку, наприклад, E (99, 90) і, навіть, E (99, 99).

При цьому найдоцільнішою вважається організація мереж цифрового звукового мовлення із застосуванням малопотужних передавачів, які випромінюють сигнали однакового рівня.

За результатами розрахунків для забезпечення охоплення 99 % території ефективна випромінювана потужність передавача в діапазоні метрових хвиль повинна становити близько 1 кВт (за ефективної висоти підвісу антени 300 м і за умови рознесення передавачів на відстань 60 км).

Для реалізації системи T-DAB у різних конфігураціях передавальної мережі передбачені чотири альтернативні режими передавання. Основні параметри цієї системи в різних режимах передавання наведені в табл. 8.5.

Таблиця 8.5 - Основні параметри системи T-DAB

Параметри	Режим передавання			
	I	II	III	IV
Номінальний діапазон частот (для мобільного приймання), МГц	≤ 375	≤ 1500	≤ 3000	≤ 750
Кількість несучих частот, які використовуються в молемі COFDM	1536	384	192	768
Максимальна відстань рознесення передавачів при роботі в одночастотній мережі, км	96	24	12	48
Тривалість фрейму передавання, мс	12	24	24	48

Режим I найбільше підходить для організації наземного цифрового звукового мовлення та побудови мереж SFN, оскільки дозволяє забезпечити максимально можливе рознесення передавачів, тому потребує меншої їхньої кількості на заданій площі обслуговування.

Режим II найдоцільніший для побудови мереж місцевого звукового мовлення з використанням одного наземного передавача, а також для побудови наземних супутникових систем на частотах до 1,5 ГГц.

Режим III більш доцільний для організації мережі супутникового звукового мовлення з доповненням його наземним фрагментом мережі цифрового звукового мовлення на частотах до 3 ГГц, а також для застосування в сучасних широкосмугових мережах кабельного телебачення в діапазоні частот від 47 МГц до 862 МГц.

Режим IV оптимізує параметри сигналу системи DAB для використання в мережах SFN, які організуються в смузі L, а також забезпечує більшу, ніж у режимі II, відстань рознесення передавачів у мережі SFN. Положеннями Заключного акту Вісбаденської конференції з планування рекомендовані структури синхронних мереж для відкритої та закритої конфігурацій, вимоги до яких наведені в табл. 8.6 [133].

Схема розташування блоків частот системи T-DAB для діапазону 1,5 ГГц наведена в табл. 8.7.

Технічні параметри системи T-DAB наведені в табл. 8.8.

Загальні структури організації відкритої та закритої конфігурацій мереж SFN зображені на рис. 8.9.

Відкрита конфігурація передбачає застосування ненаправлених антен, закрита конфігурація - направлених антен, ДН яких мають внутрішньозонну спрямованість.

Таблиця 8.6 - Вимоги до структури синхронних мереж

Назва параметра	Конфігурація	
	Відкрита	Закрита
Діапазон частот	1,5 ГГц	метрові хвилі
Відстань між передавачами, км	15	60
Висота передавальної антени, м	150	150
Потужність центрального передавача, Вт	500	100
Потужність периферійного передавача, кВт	1	1
Радіус зони обслуговування, км	39	
Відстань від периферійного передавача до межі зони обслуговування, км	17	

Таблиця 8.7 - Схема розташування блоків частот системи T-DAB для діапазону 1,5 ГГц



Номер блоку T-DAB	Центральна частота, МГц	Ширина смуги частот блоку, МГц	Нижня захисна смуга, кГц	Верхня захисна смуга, кГц
LA	1452,960	1452,192- 1453,728	192	176
LB	1454,672	1453,904- 1455,440	176	176
LC	1456,384	1455,616- 1457,152	176	176
LD	1458,096	1457,328 - 1458,864	176	176
LE	1459,808	1459,040- 1460,576	176	176
LF	1461,520	1460,752- 1462,288	176	176
LG	1463,232	1462,464- 1464,000	176	176
LH	1464,944	1464,176- 1465,712	176	176
LI	1466,656	1465,888 - 1467,424	176	

Рекомендовані структури мереж T-DAB для діапазону метрових хвиль і діапазону частот 1,5 ГГц зображені на рис. 8.10, а спектр сигналу, що випромінюється в цій системі, зображений на рис. 8.11.

Стандарт T-DAB забезпечує роботу 8 каналів мовлення у смузі частот 1,75 МГц, у якій можна передавати від 2 до 9 стереофонічних програм із різною якістю (зазвичай, 5-6 високоякісних програм) і додаткових даних різного характеру. При цьому кількість несучих частот визначається режимом, обумовленим діапазоном робочих частот, що використовується, та обсягом інформаційного потоку, що передається, і може змінюватися від 192 до 1536.

Таблиця 8.8 - Технічні параметри системи T-DAB

Назва параметра	режим		
	1	2	3
Ширина смуги частот радіоканалу, МГц	1,536	1,536	1,536
Кількість несучих частот ( $K$ )	1536	384	192
Рознесення несучих частот ( $\Delta f$ ), кГц	1	4	8
Сумарна швидкість передавання даних, Мбіт/с	2,4	2,4	2,4
Сумарна тривалість OFDM символу $T_u$ , мкс	1250	312,5	156,25
Тривалість корисної частини OFDM символу $T_s$ , мкс	1000	250	125
Тривалість захисного інтервалу $T_g$ , мкс	250	62,5	31,25
Тривалість кадру сигналу DAB, мс	96	24	24
Частота повторення OFDM символу $1/T_s$ , кГц	0,8	3,2	6,4
Швидкість передавання в каналі системи DAB, кбіт/с	2304	2304	2304
Швидкість передавання даних у каналі FIC, кбіт/с	96	96	128
Кількість бітів на символ OFDM	3072	768	384
Кількість FIB у фреймі передавання	12	3	4
Кількість CIF у фреймі передавання	4	1	1
Смуга частот, ГГц	< 0,375	< 1,5	< 3,0
Відстань між передавачами, км, не більше	75	18,8	9,4

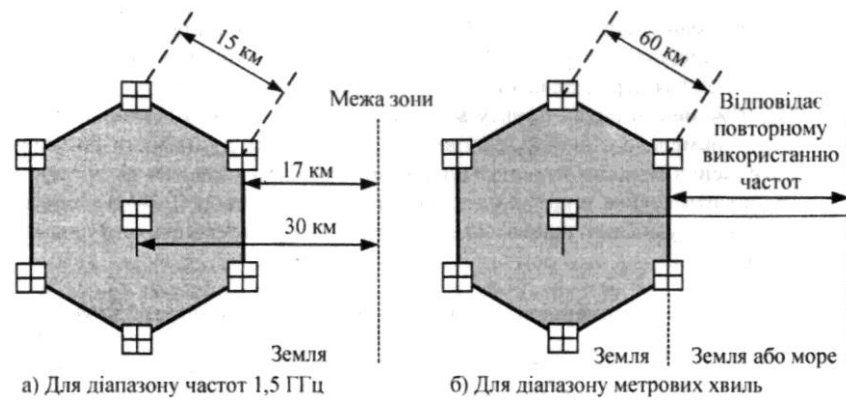


Рис. 8.10. Рекомендовані структури мереж T-DAB

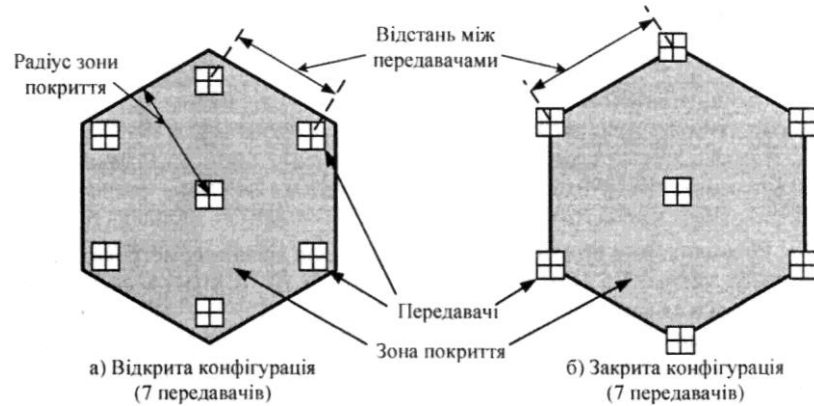


Рис. 8.9. Відкрита та закрита конфігурації мережі T-DAB

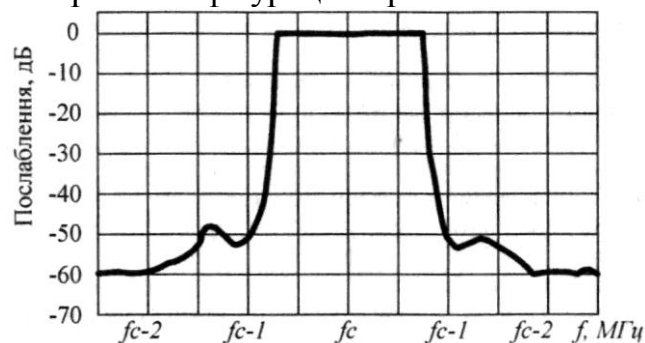


Рис. 8.11. Спектр сигналу T-DAB

До основних особливостей організації мереж зв'язку та технічних параметрів передавачів стандарту T-DAB з точки зору забезпечення технічного радіоконтролю параметрів випромінювань передавачів цього стандарту можна віднести такі:

1) мережі стандарту T-DAB організуються переважно шляхом розгортання мереж SFN, у межах яких усі передавачі працюють із застосуванням одного й того ж блоку частот;

2) порівняно із системами аналогового звукового мовлення потужності передавачів стандарту T-DAB менші на (7 - 8)дБ [129], при цьому значно менші рівні мінімально необхідної еквівалентної напруженості електромагнітного поля (35 дБмкВ/м у діапазоні частот 230 МГц і 43 дБмкВ/м у діапазоні частот 1470 МГц);

3) порівняно із системами аналогового звукового мовлення для забезпечення приймання сигналів у такій же зоні обслуговування потрібна потужність передавача стандарту T-DAB у середньому приблизно в 50 разів менша (на 17 дБ), ніж для передавача аналогового звукового мовлення;

4) можливість появи ефекту мережевого підсилення сигналів за рахунок багатопроменевого поширення радіохвиль, яке може призвести до значного погіршення точності пеленгування в умовах густонаселених міст;

5) досить велика ширина спектра сигналу в стандарті T-DAB (більше 1,5 МГц), що зумовлює надто низьку спектральну щільність потужності випромінювання.

### **8.5.3 Система цифрового звукового мовлення стандарту DRM**

Згідно з Регламентом радіозв'язку [4] для радіомовлення на частотах до 30 МГц у Районі 1 застосовуються такі смуги частот:

- в діапазоні НЧ - від 148,5 кГц до 283,5 кГц;
- в діапазоні СЧ - від 526,5 кГц до 1606,5 кГц;
- в діапазоні ВЧ - набір окремих смуг частот для цифрового звукового мовлення в діапазоні частот від 3 МГц до 27 МГц (загальнодоступних на всесвітній основі).

Система DRM - сучасний стандарт цифрового звукового мовлення, який працює в смузі частот від 520 кГц до 26,2 МГц із використанням АМ [129, 130]. У форматі DRM передбачається передавання цифрового звукового сигналу (включаючи незначний обсяг цифрових даних не звукового характеру) в каналі, суміщеному з каналом аналогового звукового мовлення. При цьому існує до 12 варіантів комбінування спектрів аналогового (з шириною спектра частот (4,5 - 5) кГц) і цифрового (з шириною спектра частот від 4,5 кГц до 10 кГц) сигналів (у тому числі передбачене односмугове передавання цифрового сигналу зі збереженням у суміжній смузі частот аналогового).

Передавання всіх типів даних у системі здійснюється в трьох цифрових каналах:

- MSC (Main Service Channel) - головний канал передавання інформації користувачів (містить груповий цифровий потік);
- FAC (Fast Access Channel) - канал швидкого доступу (містить інформацію, яку потрібно розшифрувати в першу чергу);
- SDC (Service Description Channel) - канал описування обслуговування (містить інформацію, що дозволяє розшифрувати призначення послуг).

В загальному вигляді послуга передавання представляє собою синхронне чи асинхронне передавання потоку інформації, файлу або пакета даних.

У стандарті DRM для забезпечення відповідності вимогам каналних обмежень та умовам поширення радіохвиль передбачена можливість адаптивної зміни ширини смуги пропускання мовного каналу й параметрів, що характеризують ефективність передавання. Система передбачає організацію каналів:

- у межах номіналів смуг частот 9 кГц і 10 кГц - для існуючих частотних планів;
- у межах половини цих номіналів смуг частот (4,5 кГц і 5 кГц) - для забезпечення мовлення спільно із традиційним аналоговим;
- у межах подвоєних номіналів смуг частот (18 кГц і 20 кГц) - для реалізації більшої пропускну здатності каналу у випадку, якщо це допускає частотне планування.

Сигнал DRM являє собою ансамбль із ортогональних частотно-розділених несучих частот (OFDM). Кількість несучих частот, як і тривалість символів захисного інтервалу, залежить від характеру поширення радіохвиль (просторові чи поверхневі), відстані, на яку передбачається передавання, і достовірності передавання (рівнів завадозахищеності системи, які позначаються буквами А, В, С, D, і наведені в табл. 8.9).

Таблиця 8.9 - Типове застосування рівнів завадозахищеності в стандарті DRM

Рівень завадозахищеності	Типові умови поширення радіохвиль
A	Гаусівський канал з мінімальними завмираннями
B	Канал із частотно-селективними завмираннями та великим запізненням
C	Рівень завадозахищеності B, але з великим доплерівським зсувом частоти
D	Рівень завадозахищеності B, але з великим запізненням і великим доплерівським зсувом частоти

В стандарті DRM порядковий номер несучої частоти позначається індексом  $k$ . Інтервали змін індексів  $k$  у межах від  $k_{min}$  до  $k_{max}$  залежно від рівня завадозахищеності, а також деякі інші параметри сигналів у стандарті DRM наведені в табл. 8.10 ( $k = 0$  відповідає опорній частоті випромінюваного сигналу). У смузі частот шириною 10 кГц може використовуватися від 88 до 226 несучих частот.

Крім звукової інформації в стандарті DRM передається текстова (цифрова) інформація, яка в користувача відображається на спеціальному цифровому дисплеї. Тривалість символу, що передається, може змінюватися від 16,6 мс до 26,6 мс. У системах DRM можуть застосовуватися методи модуляції 64-QAM (в каналі MSC), 16-QAM (в каналах MSC і SDC) та 4-QAM (в каналах SDC і FAC).

Для ілюстрації переваг системи цифрового звукового мовлення DRM порівняно з аналоговими системами в табл. 8.11 наведені значення мінімально використовуваної напруженості електромагнітного поля (*м.в.н.п.*) для DRM стандартної модуляції (з  $BER = 10^{-4}$ ) залежно від рівня захисту (для порівняння: в аналоговому АМ мовленні в діапазоні СХ *м.в.н.п.* для смуги частот від 0,5 МГц до 1,5 МГц знаходиться в інтервалі від 66,6 мкВ/м до 58мкВ/м)[134].

Таблиця 8.10- Параметри символів OFDM

Рівень завадозахищеності	$T_U$ , мс	Рознесення парціальних частот $\mathcal{f}$ , Гц	Індекс несучої частоти, $k$	Значення параметра заповнення спектра					
				0	1	2	3	4	5
				Ширина смуги частот радіоканалу, кГц					
				4,5	5	9	10	18	20
A	24,00	$41^{2/3}$	$K_{min}$	2	2	-102	-114	-98	-ПО
			$K_{max}$	102	114	102	114	314	350
B	21,33	$46^{7/8}$	$K_{min}$	1	1	-91	-103	-87	-99
			$K_{max}$	91	103	91	103	279	311
C	14,66	$68^{2/11}$	$K_{min}$	-	-	-	-69	-	-67
			$K_{max}$	-	-	-	69	-	213
D	9,33	$107^{1/7}$	$K_{min}$	-	-	-	-44	-	-43

			$K_{max}$	-	-	-	44	-	135
--	--	--	-----------	---	---	---	----	---	-----

Таблиця 8.11 - Мінімальна використовувана напруженість поля для DRM стандартної модуляції

Схема модуляції	Рівень захисту, №	Відносна швидкість загорткового коду	Необхідне відношення S/I для BER=10 <sup>-4</sup> , дБ		
			ДХ (150 кГц-285 кГц)	СХ (525 кГц - 1606,5 кГц)	КХ (3,2 МГц - 26.1 МГц)
16-QAM	0	0,5	40,2	34,2	20,5
	1	0,62	42,3	36,3	24,6
64-QAM	0	0,5	45,7	39,7	26
	1	0,6	46,9	40,9	27,9
	2	0,71	48,7	42,7	31
	.3	0,78	50,2	44,2	33,5

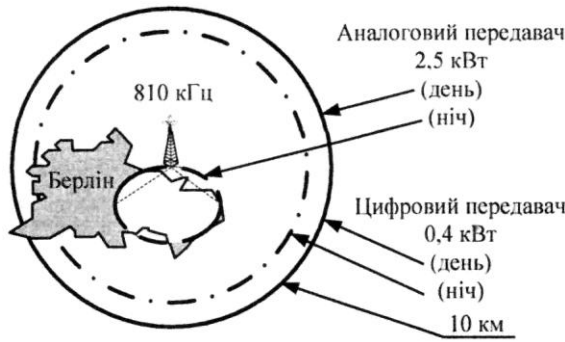
Структура цифрового сигналу стандарту DRM дозволяє організувати мережу SFN на великій території. Мережі SFN знайшли поширене застосування в Європі для цифрового звукового мовлення. При цьому рівень напруженості електромагнітного поля, що планується для міської місцевості, повинен бути більшим, ніж для сільської місцевості, що зумовлено гіршими умовами приймання внаслідок впливу шумів промислового походження та зменшення рівня сигналу через багатоповерхову забудову міст.

На відміну від аналогового звукового мовлення, у випадку, коли різниця в затримці сигналів від двох передавачів цифрового звукового мовлення, що працюють на одній частоті, не перевищує значення захисного інтервалу символу OFDM, може спостерігатися мережеве підсилення цифрових сигналів.

Ефективне використання захисного інтервалу можливе лише за умов строгої часової синхронізації всіх передавачів мережі. На практиці для синхронізації роботи мереж SFN найчастіше використовується мережа GPS.

Для передавання цифрового сигналу потрібна потужність передавача на (16 - 20) дБ менша, ніж для передавання аналогового сигналу.

За результатами практичної експлуатації мережі DRM цифрового звукового мовлення, яка розгорнута в Берліні, встановлено, що її переваги



найбільше проявляються в нічний час. Так, навіть за умов, якщо зони обслуговування аналогового та цифрового передавачів у денний час однакові, то в нічний час зона цифрового передавача, який працює на частоті 810 кГц, у кілька разів більша порівняно з аналоговим (рис. 8.12).

Рис. 8.12. Зони обслуговування АМ аналогового передавача та цифрового

передавача мережі DRM

Основні особливості організації мереж стандарту DRM і технічних параметрів радіовипромінювання передавачів цього стандарту такі.

1.Режими роботи та технічні параметри сигналів радіовипромінювань (ширина смуги частот радіоканалу, кількість несучих частот, структура цифрового OFDM сигналу) в стандарті DRM значною мірою визначаються з урахуванням умов поширення радіохвиль і вимог забезпечення заданої зони обслуговування. Приклади розташування несучих частот для різних значень ширини смуги частот мовного каналу (4,5 кГц і 5,0 кГц) зображені на рис. 8.13.

Стандарт DRM передбачає одночасне передавання аналогових і цифрових сигналів як послугу, що використовує DRM і АМ мовлення. В цьому разі структура загального сигналу представляє собою розташовані поряд (за частотою) аналоговий АМ сигнал (у вигляді двосмугової АМ DSB, АМ із частково подавленою несучою частотою VSB або односмуговою АМ SSB) і цифровий сигнал системи DRM. На рис. 8.14. зображено декілька варіантів спільного розташування аналогового та цифрового сигналів ( $f_R$  - опорна частота цифрового сигналу стандарту DRM,  $f_c$  - несуча частота для передавання аналогових сигналів).

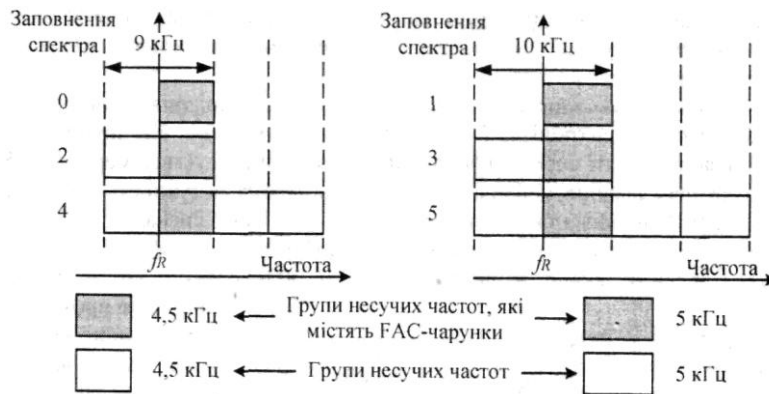


Рис. 8.13. Розташування несучих частот у стандарті DRM

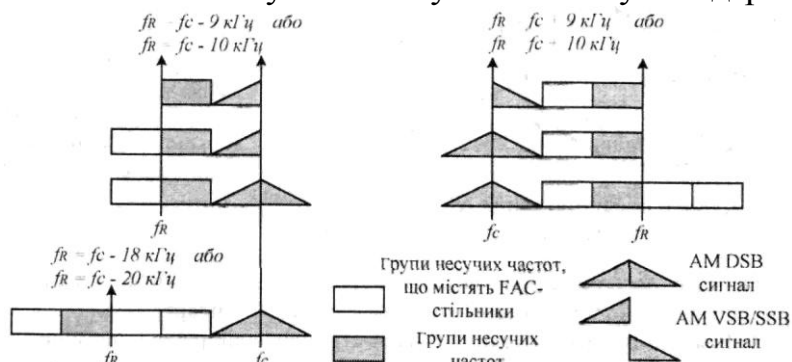


Рис. 8.14. Варіанти спільного розташування аналогового та цифрового сигналів

#### 8.5.4 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ стандартів T-DAB і DRM

Проведення моніторингу спектра в діапазонах частот роботи передавачів РЕЗ стандартів T-DAB і DRM вважається недоцільним. Технічний радіоконтроль у смугах частот роботи передавачів стандарту T-DAB може бути організований переважно з використанням *мобільних* або *портативних засобів*. Стационарні засоби радіомоніторингу для цього випадку мають надто обмежене застосування.

Технічний радіоконтроль може проводитися:

- на підставі планових і (або) позапланових завдань;
- на підставі заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- з метою перевірки умов ЕМС та оцінювання зон радіопокриття за результатами частотного планування;

- для виявлення вільного для використання РЧР.

Для здійснення технічного радіоконтролю використовуються класичні методи, що застосовуються для радіоконтролю параметрів випромінювання передавачів РЕЗ радіотехнологій, які використовують широкосмугові цифрові сигнали з модуляцією OFDM (класу радіовипромінювання X7WHX).

Крім того, враховуючи, що в межах зони всі передавачі працюють на одній частоті (в одній смузі частот), вимірювання параметрів радіовипромінювань обов'язково потребує попереднього проведення просторової селекції цих передавачів шляхом застосування направлених антен або пеленгування з метою визначення напрямку на передавач.

Для **виявлення** сигналів у діапазоні частот від 174 МГц до 230 МГц можуть застосовуватись звичайні багатофункціональні мобільні комплекси радіомоніторингу (з функцією пеленгування), які мають змогу визначати місцезнаходження передавачів. У діапазоні частот від 1452 МГц до 1479,5 МГц місцезнаходження ДРВ може визначатися із застосуванням *портативного обладнання* (наприклад, аналізатора спектра) *та направлених антен*. Ще однією особливістю здійснення технічного радіоконтролю параметрів випромінювань передавачів стандарту T-DAB є значно менша (на (15 - 20) дБ) порівняно із системами аналогового звукового мовлення напруженість електромагнітного поля й, як наслідок, менший рівень сигналу (табл. 8.12 [129, 130, 132]).

Таблиця 8.12 - Необхідні мінімальні значення напруженості електромагнітного поля за межами міст

Діапазон частот, МГц	Мінімальні значення напруженості поля, дБмкВ/м	
	Аналогове звукове мовлення	Стандарт T-DAB
Від 174 до 230	не менше 58	від 40,2 до 50,2
Від 1452 до 1492	не менше 66	від 34,2 до 4,2

До параметрів, які підлягають вимірюванню (інструментальному оцінюванню) під час проведення технічного радіоконтролю відносяться:

- частота (номінальне значення частоти, номер частотного каналу);

- напруженість електромагнітного поля (для визначення зон радіопокриття);
- ширина займаної смуги частот.

Крім того, у процесі проведення технічного радіоконтролю можуть оцінюватися показники якості обслуговування (QOS, Quality Operating Service) та якості надання послуг (QoS, Quality of Service).

**Частота** визначається як середня частота **займаної смуги частот** каналу, яка у свою чергу вимірюється методом за критерієм X дБ на рівні мінус 28 дБ.

**Напруженість електромагнітного поля** в разі використання портативного обладнання (аналізатора спектра) доцільно вимірювати із застосуванням режиму пікової або максимальної пікової функції детектора [1].

Оцінювання **якості обслуговування (QOS) та якості надання послуг (QoS)** можливе шляхом застосуванням DAB приймача 752 Philips і комплексу ПЗ „ROMES” або систем вимірювання зон покриття типу TS9951, TS9955.

Стосовно стандарту DRM потрібно відмітити, що у відомій науково-технічній літературі відсутня будь-яка інформація стосовно методів і способів технічного радіоконтролю, а також параметрів, що підлягають вимірюванню під час його проведення.

Проведення вимірювання параметрів у діапазоні частот роботи передавачів стандарту DRM із застосуванням мобільного чи портативного обладнання в довільних місцях та умовах на практиці призводить до значних похибок, що може взагалі поставити під сумніви їхні результати.

## **8.6 Системи аналогового та цифрового телевізійного мовлення**

### **8.6.1 Загальні відомості про системи аналогового та цифрового телевізійного мовлення**

Системи телевізійного (ТВ) мовлення призначені для формування та розповсюдження програм мовного телебачення [122]. У залежності від принципів формування та оброблення сигналів розрізняють системи **аналогового та цифрового** телебачення.

Організація системи телебачення базується на доставці програм мовного телебачення до передавачів із застосуванням мереж фіксованого (радіорелейного), супутникового або проводового зв'язку й наступного їхнього розповсюдження шляхом електромагнітного випромінювання в простір.

В залежності від способу доставки ТВ сигналів системи телебачення поділяють на системи:

- наземного ТВ мовлення (передавання за допомогою наземної ТВ мережі);
- кабельного телебачення (розповсюдження за допомогою систем проводового (кабельного) зв'язку);
- безпосереднього ТВ мовлення (розповсюдження за допомогою використання штучних супутників Землі на геостаціонарних орбітах).

Найбільшу увагу з точки зору радіомоніторингу, безумовно, привертають системи наземного ТВ мовлення.



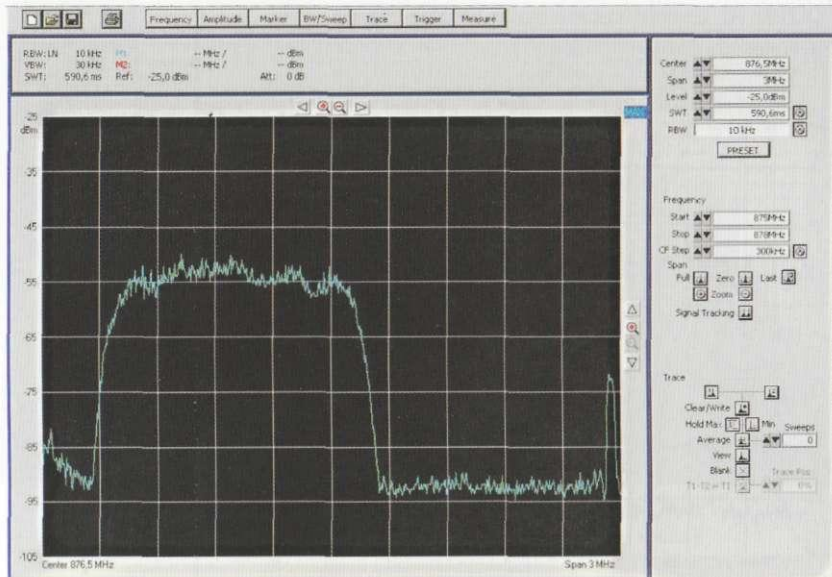


Рис. 8.39. Спектрограма сигналу одного каналу базової станції CDMA-800

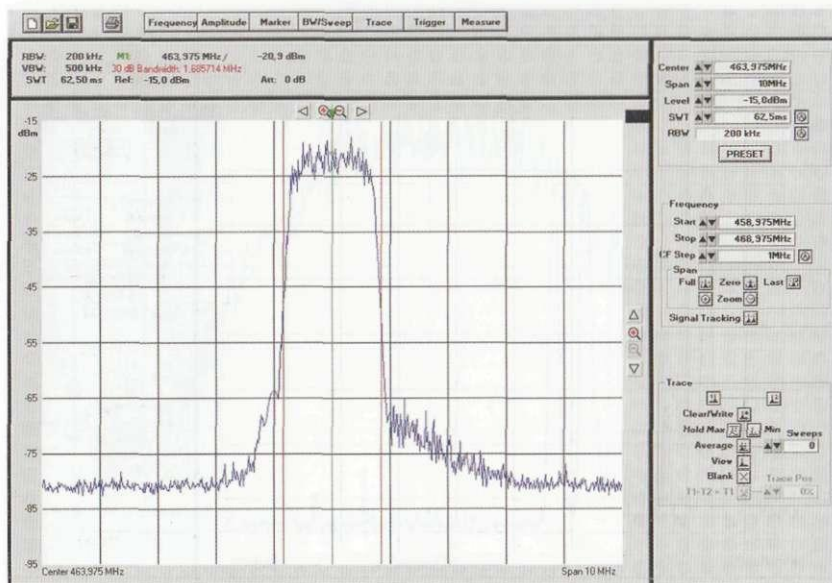


Рис. 8.40. Спектрограма сигналу одного каналу базової станції CDMA-450

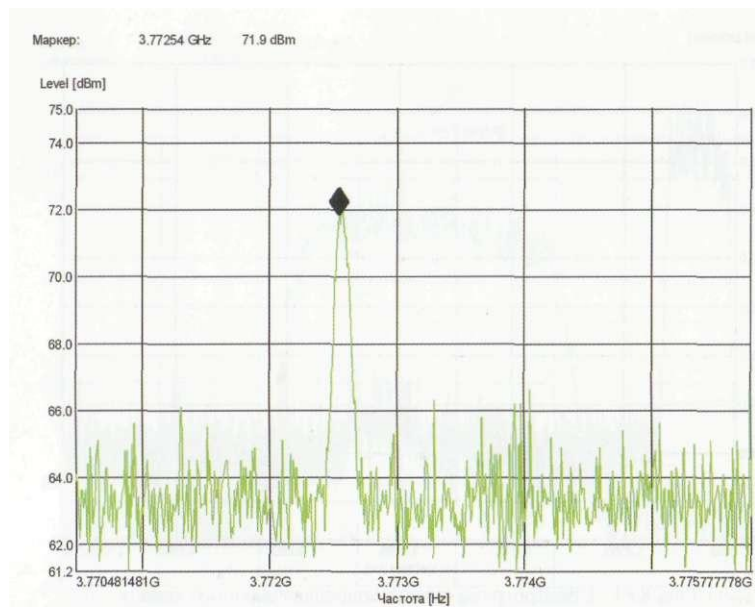


Рис. 8.45. Спектрограма сигналу радіорелейної станції в діапазоні 3,8 ГГц

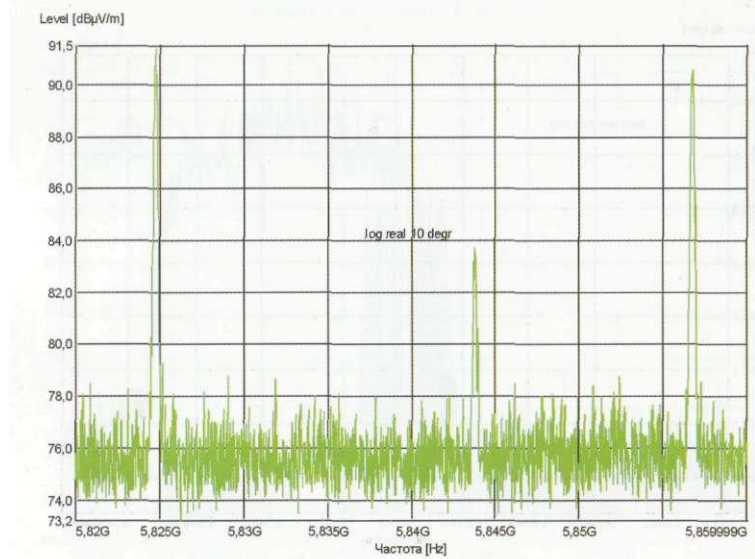


Рис. 8.46. Спектрограма сигналів радіорелейних станцій в діапазоні 5,8 ГГц

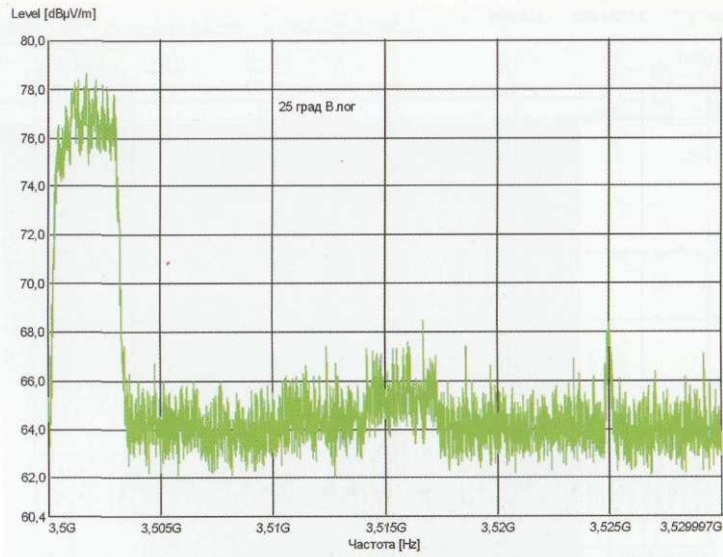


Рис. 8.81. Спектрограма сигналу передавача одного каналу базової станції BreezeMax

Маркер: 3,5384219 GHz 62,9 dBμV/m  
 Треугольник: 9,2058 MHz -0,6 dB

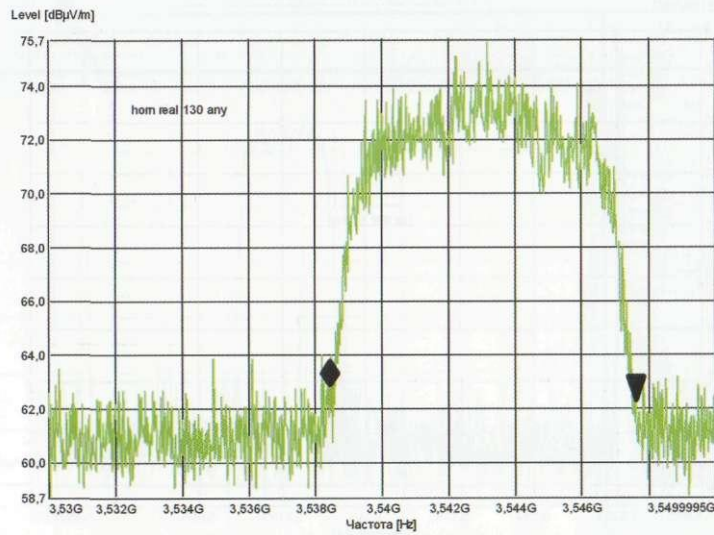


Рис. 8.82. Спектрограма сигналу передавача одного каналу базової станції WiMax

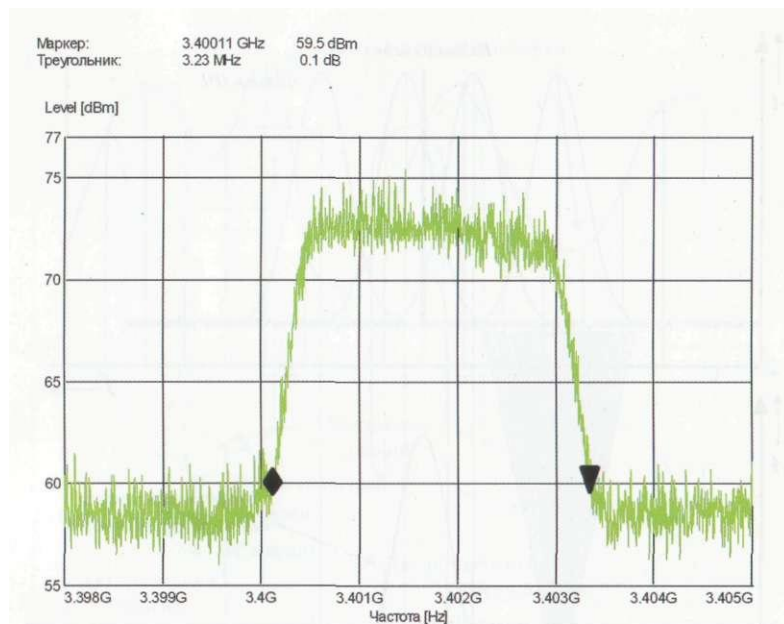


Рис. 8.83. Спектрограма сигналу одного каналу абонентської станції BreezeMax

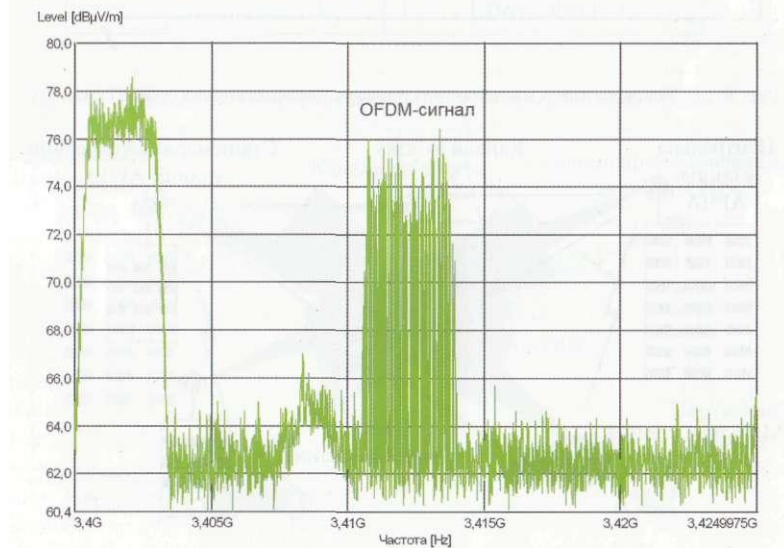


Рис. 8.84. Спектрограма сигналу OFDM у діапазоні радіочастот 3,4 ГГц

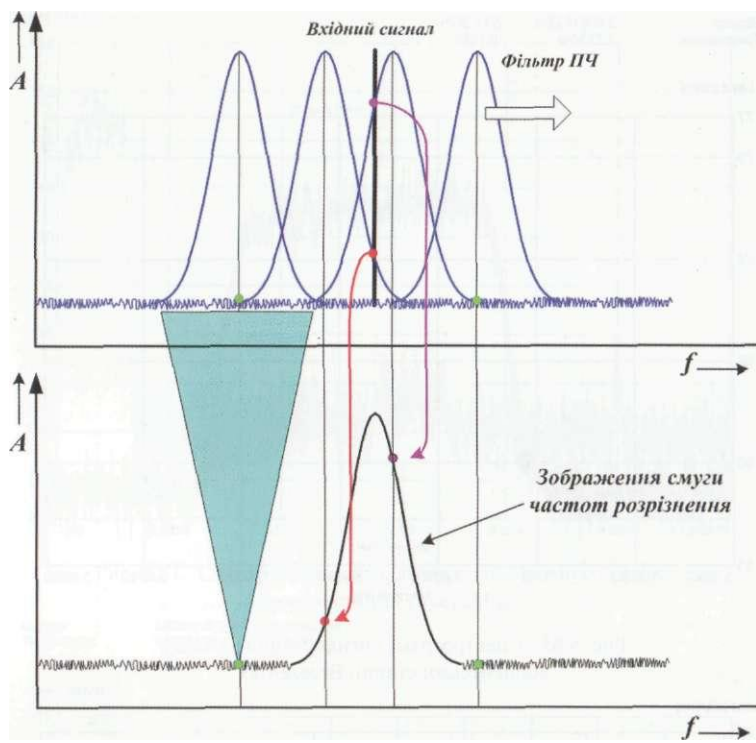


Рис. 9.14. Розширення (спотворення) спектра первинного (вхідного) сигналу

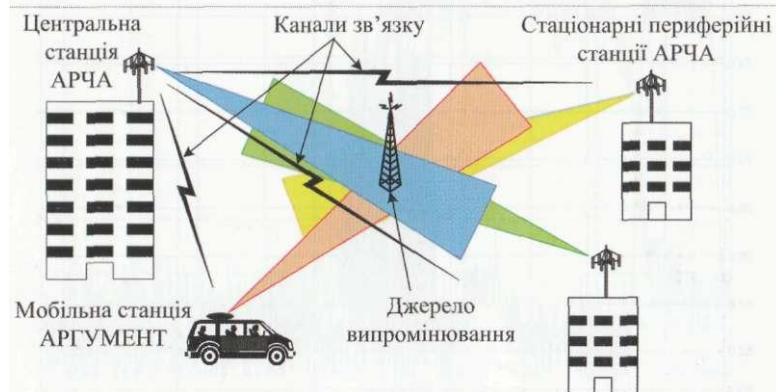


Рис. 9.17. Структура системи радіомоніторингу АРК-ПОМ1



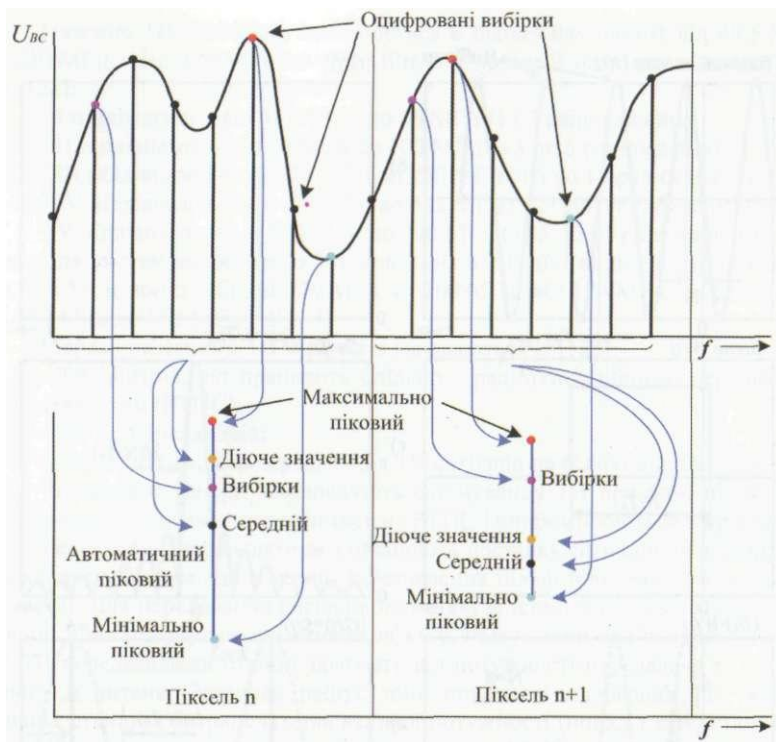


Рис. 9.19. Пояснення принципу роботи різних детекторів



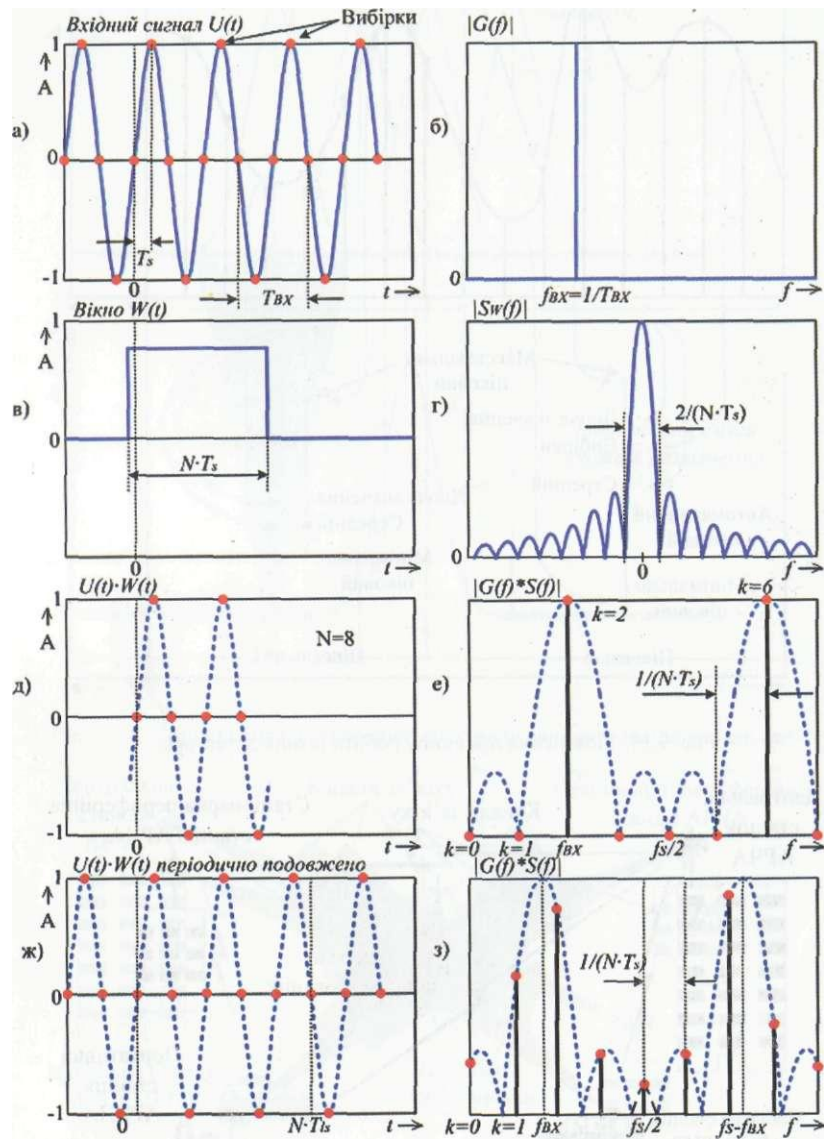


Рис. В.4.1. Дискретне перетворення Фур'є

Наземне ТВ мовлення здійснюється в діапазонах частот від 48,5 МГц до 230 МГц і від 470 МГц до 790 МГц, які поділені на п'ять піддіапазонів [78, 1221]:

- I піддіапазон - від 48,5 МГц до 66 МГц (1 і 2 радіоканали);
- II піддіапазон - від 76 МГц до 100 МГц (з 3 по 5 радіоканали);
- III піддіапазон - від 174 МГц до 230 МГц (з 6 по 12 радіоканали);
- IV піддіапазон - від 470 МГц до 582 МГц (з 21 по 34 радіоканали);
- V піддіапазон - від 583 МГц до 790 МГц (з 35 по 60 радіоканали).

Для систем аналогового ТВ мовлення в Україні виділені смуги частот від 48,5 МГц до 66 МГц, від 76 МГц до 100 МГц, від 174 МГц до 230 МГц і від 470 МГц до 862 МГц [19].

Мережі наземного ТВ мовлення складаються із [1221]:

ТВ центрів, які працюють спільно з радіотелевізійними передавальними станціями (РТПС);

ТВ ретрансляторів;

технічних засобів передавання ТВ сигналів на великі відстані.

Телевізійні центри забезпечують формування ТВ програм, після чого сформовані ТВ сигнали передаються на РТПС і випромінюються в простір.

Телевізійні ретранслятори здійснюють доставку сигналів до віддалених і важкодоступних місць з метою забезпечення більш рівномірного покриття території. Для передавання сигналів на великі відстані застосовуються радіо-релейні лінії та супутникові канали зв'язку. Радіус зони радіопокриття (зони дії) ТВ передавальної станції залежить від потужності передавача та висоти підвісу її антени. Зазвичай радіус зони покриття аналогових ТВ передавальних станцій і ретрансляторів великої потужності (понад 1 кВт) становить (50 - 70) км, ретрансляторів малої потужності - (10-20) км.

Уважається, що найекономічніше планування мереж наземного ТВ мовлення досягається в разі, якщо передавачі розташовуються в кутах рівно- стороннього трикутника. Однак існують території, на яких можливе приймання сигналів від кількох різних радіопередавачів. При цьому для певного передавача сигнали інших передавачів можуть розглядатися як радіозавади. З метою ослаблення впливу взаємних завад сусідні ТВ передавачі повинні працювати в різних ТВ каналах.

Для збереження високої якості ТВ зображень, що відтворюються ТВ приймачем, відношення сигнал/радіозавада (S/I) на його вході повинно бути не менше захисного відношення, значення якого за суміщеним (однаковим) каналом згідно з положеннями стандарту [135], повинно бути не меншим, ніж 40 дБ. Унаслідок нерівномірності частотної характеристики приймача це значення змінюється за спектром радіоканалу [122, 136]. Одним із найефективніших методів зниження до потрібного значення захисного відношення за умови скорочення відстані між передавачами, що працюють у суміщених каналах, є метод зміщення робочих частот, який базується на застосуванні дискретних частотних властивостей ТВ сигналів, що дозволяє зменшити захисне відношення на (10-20) дБ.

За результатами планування мереж аналогового телебачення впливає, що за умови дотримання норм щодо рівня захисного відношення та недопущення



впливу взаємних радіозавад загальна кількість каналів телебачення, на яких одночасно може вестися трансляція, не може бути більшою п'яти.

Нині у світі найбільшого поширення знайшли три стандартні системи аналогового кольорового телебачення: SECAM (Sequence de Couleurs Avec Memoire), PAL (Phase Alternation Line) і NTSC (National Television System Committee) [136].

Характерною особливістю спектра телевізійного сигналу є досить широка смуга частот  $\Delta f$ , яку займає відеосигнал

$$\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}, \quad (8.5)$$

де  $f_{\text{в}}$  і  $f_{\text{н}}$  - відповідно верхня та нижня граничні частоти спектра.

Нижня гранична частота  $f_{\text{н}}$  відеосигналу відповідає передаванню нерухомого зображення, верхня  $f_{\text{в}}$ , яка дорівнює 6,25 МГц, створюється при передаванні максимально складного зображення. Взагалі, вид спектра ТВ сигналу безпосередньо залежить від зображення, що передається. Наприклад, під час передавання нерухомого зображення спектр ТВ сигналу має лінійчатий дискретний характер. У разі передавання рухомого зображення структура спектра залишається періодичною, та дискретні складники „розпливаються”.

У зв'язку з тим, що в разі застосування ЧМ для передавання модульованого сигналу потрібний радіоканал із шириною смуги частот від 50 МГц до 70 МГц, у сучасних системах ТВ мовлення для передавання ТВ сигналу радіоканалами використовується АМ, основна перевага якої полягає в тому, що спектр АМ сигналу займає порівняно вузьку смугу частот. У той же час, як відомо, спектр АМ сигналу має дві бічні смуги частот - нижню та верхню, ширина кожної з яких дорівнює ширині смуги частот модульовального сигналу. Тому, навіть для максимальної модульовальної частоти  $f_{\text{м}} \sim 6$  МГц (що відповідає верхній частоті ТВ сигналу), спектр модульованого сигналу займе смугу частот понад 12 МГц. Для забезпечення можливості передавання модульованого ТВ сигналу в стандартному радіоканалі з шириною смуги пропускання 8 МГц нижня бічна смуга частот модульованого сигналу частково приглушується. Згідно з положеннями ДСТУ 3837 [135] залишок нижньої бічної смуги частот становить 1,25 МГц.

Загальний спектр частот аналогового ТВ сигналу має досить складну структуру і складається зі спектрів радіосигналів зображення та звукового супроводу. Згідно з [135] передбачено два варіанти розподілу смуг частот у радіоканалі мовного телебачення: у випадку реалізації передавання звукової інформації лише в аналоговому форматі, а також одночасно в аналоговому та цифровому форматах. Розподіл смуги частот радіоканалу мовного телебачення в разі використання аналогового звукового супроводу (для стандарту D) наведений на рис. 8.15. При цьому рівні сигналів, що передаються, на різних частотах також різні. Так, рівень сигналу на несучій частоті зображення повинен ослаблятися на 6 дБ, послаблення складників спектра на частотах мінус 1,25 МГц і 6,375 МГц відносно несучої частоти зображення становить мінус 20 дБ. Частина спектра нижньої бічної смуги частот шириною 0,75 МГц передається без ослаблення.

Номінальна смуга частот радіоканалу, яка відводиться для передавання безпосередньо ТВ сигналу, становить 7.625 МГц. Радіосигнал звукового супроводу передається за допомогою ЧМ несучої частоти звуку.

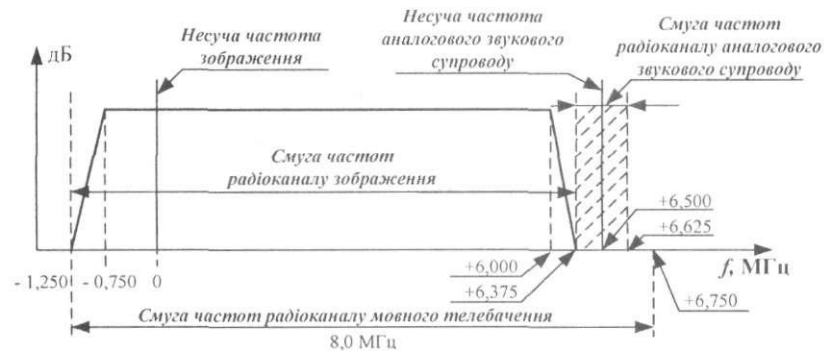


Рис. 8.15. Розподіл смуг частот у радіоканалі мовного телебачення в разі використання аналогового звукового супроводу

Для номінального значення ширини смуги частот, яку займає сигнал звукового супроводу, рівного 0,25 МГц максимальне значення девіації частоти становить  $\pm 50$  кГц. У стандартах D/K, які застосовані в Україні, рознесення несучих частот звукового супроводу та зображення становить 6,5 МГц. Відношення потужностей несучих частот зображення й звуку вибирається, виходячи з умови створення однакових розмірів (радіусів) зон дії обох передавачів за умови приймання сигналів на стандартні ТВ приймачі і змінюється від 5:1 до 10:1 для системи SECAM і від 10:1 до 20:1 для системи PAL.

Розподіл смуги частот радіоканалу мовного телебачення в разі використання аналогового та цифрового звукового супроводу (для стандарту D) наведений на рис. 8.16.

Згідно зі стандартом, такий розподіл призначений для реалізації цифрової системи передавання багатоканального звукового супроводу NICAM (Near Instantaneously Comanded Audio Multiplex), яка іноді ще називається NICAM 728. Система NICAM може бути застосована для різних варіантів передавання даних (з автоматичним вибором режиму за трибітовим кодом, який міститься в службовій зоні потоку даних), зокрема:

- одного стереоканалу звуку;
  - двох повністю незалежних моноканалів звуку різного змісту;
- одного моноканалу цифрового звуку та одного каналу передавання даних зі швидкістю кбіт/с;

- одного каналу передавання даних зі швидкістю 704 кбіт/с. Нині апаратно реалізовані лише перші два режими.

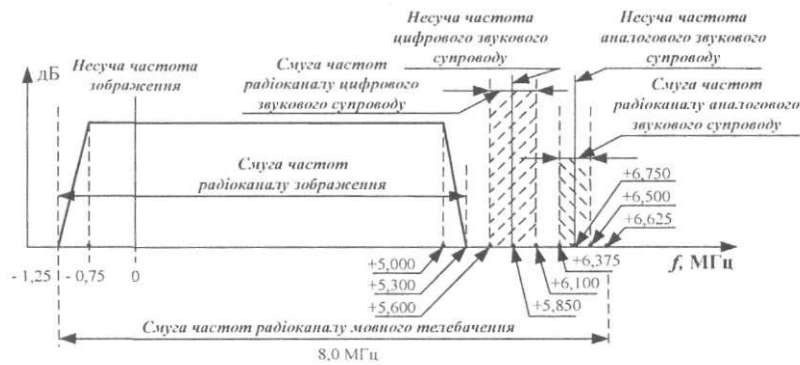


Рис. 8.16. Розподіл смуг частот у радіоканалі мовного телебачення в разі виконання аналогового та цифрового звукового супроводу

Термін „Near Instantaneously Companded” означає, що до початку процесу компандування повинна

з'явитися порція вхідних даних, які відповідають звуковому фрагменту тривалістю 1 мс. Термін „Audio Multiplex” свідчить про те, що можливості системи не обмежуються лише передаванням стереофонічних сигналів звукового супроводу.

Для передавання звукової інформації в системі NICAM використовуються дві піднесучі частоти. Одна з них, основна - fЗВ/МОНО, модулюється за частотою аналоговим монофонічним сигналом звукового супроводу ТВ програми. Друга, додаткова піднесуча частота fЗВ/СТЕРЕО 5,85 МГц, яка розташована в смузі частот від 5,6 МГц до 6,1 МГц, модулюється цифровим стереофонічним сигналом. Для модуляції цифрового сигналу використовується DQPSK-маніпуляція, як найекономічніша. Ширина смуги частот сигналів, що відтворюються, становить від 2 кГц до 1кГц (для прослуховування звукових програм системи NICAM потрібен стереотелевізор з убудованим декодером NICAM для приймання стандартів D/K або звичайний Hi-Fi відеомагнітофон).

Номінальна ширина смуги частот радіоканалу ТВ мовлення становить 8 МГц.

В системах аналогового телебачення використовуються сигнали з такими класами радіовипромінювання:

- для передавання відео - **7M63C3F**;
- для передавання звукового супроводу - **250KF3EGN**.

Приклад спектра реального ТВ сигналу (для 40-го ТВ каналу) наведений на рис. 8.17 (другий справа - спектр сигналу системи NICAM).

Згідно з положеннями ДСТУ 3837 допускається використовувати як горизонтальну так і вертикальну поляризацію хвиль, що випромінюються передавачами. Однак, завдяки простішій конструкції ТВ обладнання з горизонтальною поляризацією хвиль, меншому завмиранню сигналів у містах і меншому впливу промислових радіозавад, зокрема, від автомобільних систем запалювання, порівняно з вертикальною поляризацією хвиль у більшості країн світу перевага надана горизонтальній поляризації хвиль.

Один із найефективніших способів значного збільшення кількості ТВ програм - це впровадження стільникового телебачення на базі застосування цифрових стандартів.

Нині у світі використовуються три стандарти цифрового телебачення:

- американський стандарт телебачення високої чіткості ATSC DTV (Advanced Television System Committee Digital Television);
- японський стандарт цифрового ТВ мовлення з наданням комплексних послуг ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting);
- європейський стандарт цифрового ТВ мовлення DVB (Digital Video Broadcasting).

Найбільшого поширення у світі знайшов стандарт цифрового ТВ мовлення DVB, на базі використання якого розроблені стандарти кабельного (DVB-C), супутникового (DVB-S) і наземного (DVB-T) ТВ мовлення. Ці стандарти ґрунтуються на використанні спеціально розробленого алгоритму кодування аудіо- та відеоінформації та створення елементарних програмних і транспортних потоків - MPEG-2 (Moving Picture Expert Group and associated audio) 1137 - 139], який забезпечує:

- суттєве звуження смуги частот цифрового ТВ сигналу, що дозволяє в одному ТВ каналі шириною (6 - 8) МГц передавати 4 і більше ТВ програм;
- єдиний підхід до кодування та передавання ТВ сигналів із різною чіткістю зображення: відеотелефон, телебачення звичайної чіткості;
- інтеграцію з іншими видами інформації під час передавання сигналів цифровими каналами зв'язку;
- захист ТВ програм, що передаються, від несанкціонованого доступу.

На відміну від мереж аналогового телебачення основною особливістю організації мереж стандарту DVB-T є те, що всі передавачі працюють на однакових частотах, радіуси зон покриття окремих передавачів в ідеальному варіанті однакові й практично не перекриваються із зонами покриття сусідніх передавачів, що забезпечується досить малою, але однаковою для всіх передавачів потужністю. При цьому всі передавачі в таких одночастотних мережах (SFN, Single Frequency Network) повинні бути синхронізовані таким чином, щоб їхні сигнали були ідентичними за бітами, що їх вони передають. Така синхронізація може бути забезпечена за рахунок використання каналів зв'язку супутникової або фіксованої служб [140. 141].

Згідно зі [141] пропонуються чотири варіанти телевізійних мереж SFN:

- 1) одночастотна мережа з великою зоною обслуговування (з великою кількістю високопотужних передавачів та зі значною відстанню між ними);
- 2) регіональні одночастотні мережі (з декількома передавачами великої потужності та зі значною відстанню між ними);

3) багаточастотна мережа (MFN, Multi Frequency Network), яка доповнюється невеликими мережами SFN, що розташовані біля кожного з передавачів MFN (одна передавальна станція MFN та певна кількість передавачів середньої потужності в мережах SFN із середньою відстанню між передавачами):

4) окремі передавачі, що забезпечують необхідний рівень сигналу в зоні „тіні” мережі SFN (передавачі малої потужності для обслуговування тих місць зони мережі MFN, де відсутній сигнал).

Внаслідок специфічних характеристик цифрових сигналів, відсутності методик планування мереж MFN/SFN і необхідності врахування в певному місці приймання додаткового допустимого відхилення напруженості електромагнітного поля сигналу на значення від 10 дБ до 20 дБ, кількість радіоканалів для типових мереж стандарту DVB-T приблизно відповідає кількості каналів, які використовуються для систем аналогового ТВ мовлення. Необхідний частотний ресурс (якщо оцінювати його кількістю каналів) для мережі MFN значно більший, ніж для мережі SFN.

Для систем цифрового ТВ мовлення передбачені канали з 21 по 69.

В Україні для систем цифрового ТВ мовлення стандарту DVB-T виділені смуги частот від 174 МГц до 230 МГц і від 470 МГц до 862 МГц [19].

Стандарт DVB-T базується на застосуванні модуляції COFDM у радіоканалі. за якої доступна смуга радіочастот поділяється між великою кількістю несучих частот, кожна з яких модулюється цифровим потоком із надто низькою швидкістю передавання [136, 140] і яка була розглянута раніше.

Вимоги до параметрів цифрового ТВ сигналу визначені в Рекомендації ITU-R BT.601 [142]. Кількість ортогональних несучих частот у стандарті DVB-T становить 1705 (у режимі 2К) або 6817 (у режимі 8К) [143 - 145]. Параметри та характеристики для режимів 2К і 8К наведені в табл. 8.13 [10, 10, 143, 145].

При цьому досить ефективно використання спектра забезпечується шляхом застосування близько розташованих один відносно одного каналів і виключення інтерференції між окремими несучими частотами завдяки їхній взаємній ортогональності. Кожна ортогональна несуча OFDM у системі DVB- T має надто вузький спектр (шириною 1 кГц), тому результуюча швидкість передавання цифрових даних на одній несучій частоті досить низька, що значно зменшує можливість міжсимвольної інтерференції. Міжсимвольна інтерференція може з'явитися, якщо в разі багатопроменевого приймання затримка сигналів становить понад 500 мкс.

Порівняно з режимом 2К режим 8К дозволяє використовувати менш потужні передавачі, але потребує застосування засобів оброблення сигналів із більшою продуктивністю. В режимі 8К забезпечується необхідний рівень для всіх розглянутих раніше варіантів мереж SFN. Режим 2К може використовуватися в передавачах, які призначені для забезпечення радіопокриття в зоні „тіні”, а також у невеликих мережах MFN/SFN за умови, якщо відстань між передавачами досить мала (приблизно в чотири рази менша, ніж використовується в більшості випадків).

Таблиця 8.13 - Параметри та характеристики режимів OFDM 8К і 2К

Назва параметра, характеристики	Значення параметра для режиму модуляції							
	8К				2К			
Тривалість робочого інтервалу $T_r$ , мкс	896				224			
Частотне рознесення несучих частот, Гц	1116				4464			
Кількість несучих частот	6817				1705			
Кількість несучих частот „корисної” інформації	6048				1512			
Ширина займаної смуги частот, МГц	7,61				7,61			
Частота прямування символів даних, МГц	6,75				6,75			
Кількість бітів на символ	2, 4, 6				2, 4, 6			
Кодування кодом Ріда-Соломона	T = 8 (204, 188)				T = 8 (204, 188)			
Модуляція несучих частот	QPSK, 16-QAM, 64-QAM				QPSK, 16-QAM, 64-QAM			
Тривалість псевдовипадкової послідовності, байт	1503				1503			
Швидкість внутрішнього коду	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8				1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8			
Швидкість передавання корисних даних, Мбіт/с	від 4,98 до 31,67				від 4,98 до 31,67			
Відносна тривалість захисного інтервалу, $T_g/T_r$	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Тривалість захисного інтервалу $T_g$ , мкс	224	112	56	28	56	28	14	7
Тривалість символу $T_g+T_r$ , мкс	1120	1008	952	924	280	252	238	231
Максимальна відстань між ТВ передавачами в мережі SFN, км	67,2	33,6	16,8	8,4	16,8	8,4	4,2	2,1

Завдяки надмірності, що вносить метод каналного кодування, який застосовується у стандарті DVB-T, приймання сигналів можливе за досить низького відношення сигнал/шум. яке залежить від виду модуляції, що вико-

ристовується. Наприклад, припустиме мінімальне відношення сигнал/шум у разі використання стаціонарних антен змінюється від 3,6 дБ для 4-PSK (QPSK) до 21,0 дБ для 64-QAM, а в разі застосування мобільних антен - від 5,4 дБ до 27,9 дБ відповідно (для порівняння: в разі використання аналогового ТВ сигналу для отримання якісного зображення відношення сигнал/шум повинно бути не менше 50 дБ).

Сигнал цифрового телебачення, який передається із застосуванням OFDM, розташовується в смузі пропускання 8 МГц, забезпечуючи захисні частотні інтервали із сусідніми радіоканалами приблизно по 0,39 МГц.

Вихідний сигнал передавача стандарту DVB-T подібний до шумового сигналу з гаусівським розподілом. Реальний спектр сигналу OFDM являє собою практично суцільний спектр, який складається з великої кількості „парціальних” спектрів. Загальна потужність сигналу стандарту DVB-T визначається сумою значень потужностей на всіх несучих частотах. Приклад спектра сигналу OFDM передавача стандарту DVB-T (для 51-го телевізійного каналу) наведений на рис. 8.18.

Приблизне номінальне значення ширини смуги частот сигналу стандарту DVB-T визначається добутком кількості несучих частот на значення відстані між ними. Для зменшення впливу позасмугових випромінювань на сигнали сусідніх каналів потрібне внесення ослаблення для бічних пелюсток спектра сигналу. Приклади сумісного використання діапазону передавачами стандарту DVB-T та передавачами аналогового телевізійного мовлення наведені в стандарті EN 300 744 [1451].

У стандарті DVB-T використовуються сигнали із класами радіовипромінювання *7M61X7WWX* і *8M00X7WWX*.

Стосовно комерційного використання стандарт DVB-T забезпечує можливість умовного доступу (CA, Conditional Access) до ТВ програм, які передаються, що дозволяє організувати платне ТВ мовлення за рахунок застосування методів скремблювання ТВ програм, шифрування та надсилання ключів користувачам.

До основних особливостей організації мереж аналогового ТВ мовлення та технічних параметрів радіовипромінювання з точки зору реалізації завдань радіомоніторингу можна віднести такі:

- 1) як правило, передавальні антени передавачів аналогового ТВ мовлення (РТПС) мають кругову ДН, що забезпечує кругову зону обслуговування (зону покриття);
- 2) завдяки досить великій вихідній потужності передавачів РТПС радіус зони покриття становить кілька десятків кілометрів, в межах якої для передавання ТВ програм використовується один блок частот;
- 3) аналоговий ТВ сигнал має досить велике значення ширини спектра частот (наприклад, у стандарті SECAM ширина смуги частот сигналу становить 7,875 МГц) і досить складну структуру: ТВ сигнал складається із АМ сигналу зображення (з номінальною шириною смуги частот 7,625 МГц) і ЧМ сигналу звукового супроводу (з шириною смуги частот 0,25 МГц);
- 4) в межах зони радіопокриття певного передавача РТПС прийнятий ТВ сигнал має досить велике значення напруженості електромагнітного поля,



оскільки для отримання якісного зображення мінімально необхідне відношення сигнал/шум повинно бути понад 50 дБ;

5) застосування ЧМ сигналу звукового супроводу забезпечує можливість його прослуховування звичайними зв'язковими радіоприймачами, які працюють у діапазоні частот роботи ТВ передавачів, що дозволяє проводити їхню ідентифікацію;

6) форма спектра ТВ сигналу практично незначно змінюється з часом.

До основних особливостей організації мереж цифрового ТВ мовлення і технічних параметрів радіовипромінювання передавачів стандарту DVB-T із точки зору реалізації завдань служби радіомоніторингу можна віднести такі:

1) організація мереж цифрового ТВ мовлення стандарту DVB-T базується на розгортанні мереж SFN, в межах яких усі передавачі працюють на однакових частотах;

2) для якісного приймання ТВ програм мінімально необхідне відношення сигнал/шум на (22 - 28) дБ менше, ніж для аналогового ТВ мовлення;

3) досить велике значення ширини спектра сигналу - 7,63 МГц;

4) форма спектра сигналу OFDM близька до прямокутної та постійна, оскільки не залежить від складу інформації, що передається, і не змінюється з часом.

### **8.6.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання передавачів аналогового телевізійного мовлення**

За результатами аналізу принципів організації мереж аналогового ТВ мовлення можна відмітити, що моніторинг спектра та технічний радіоконтроль можуть бути організовані із застосуванням як *стаціонарних* станцій радіомоніторингу (в межах їхніх зон радіодоступності), так і *мобільних* комплексів (станцій) радіомоніторингу та *портативних засобів* (за межами зон радіодоступності стаціонарних РКП).

Моніторинг у смугах радіочастот, виділених для систем аналогового телевізійного мовлення проводиться:

- на підставі планових і (або) позапланових завдань;
- у разі надходження заяв щодо наявності радіозавад;
- з метою перевірки умов розрахунків ЕМС за результатами частотного планування;
- для оцінювання ступеня використання (зайнятості) РЧР і виявлення вільного РЧР.

Технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювань передавачів систем аналогового телебачення проводиться:

- на підставі планових і (або) позапланових завдань з перевірки легі- тимності роботи певного передавача РТПС;
- в разі наявності заяв від користувачів РЧР щодо вимірювання та перевірки параметрів радіовипромінювання певного передавача РТПС;
- на підставі угод з користувачами РЧР щодо проведення технічного радіоконтролю у смугах частот роботи відповідних РЕЗ;

- оцінювання показників надання послуг (визначення зон радіопокриття та оцінювання показників якості обслуговування).

Враховуючи особливості організації мереж і технічних параметрів передавачів ТВ мовлення (зокрема, досить великі значення вихідної потужності), а також те, що стаціонарні РКП розташовані в містах, треба відмітити, що у певних місцях розташування стаціонарних РКП можуть бути виявлені сигнали від кількох ТВ передавачів, але оскільки вони будуть спостерігатися на різних частотах, то це дозволяє виділити „корисні” сигнали із загального спектра, виміряти параметри радіовипромінювання та ідентифікувати їх.

З урахуванням складної структури й технічних параметрів радіосигналів цієї категорії РЕЗ (зокрема, наявності, як мінімум, трьох несучих частот: зображення, звукового супроводу та кольорової піднесучої частоти, а також квазіперіодичного характеру відеосигналу, що передається, зумовленого наявністю сигналів рядкової та кадрової синхронізації), під час проведення технічного радіоконтролю може виконуватися інструментальне оцінювання як параметрів радіосигналу зображення, так і параметрів радіосигналу звукового супроводу, а саме:

- напруженості електромагнітного поля;
- рівня сигналу;
- співвідношення рівнів сигналів зображення та звукового супроводу;
- несучої частоти зображення і її відхилення від нормованого значення;
- номера каналу;
- ширини займаної смуги частот;
- рознесення між частотами зображення та звукового супроводу.

Крім того, у процесі проведення моніторингу спектра оцінюється зайнятість частотних каналів (смуг частот).

Затверджених (стандартизованих) норм стосовно значень ширини смуги частот випромінювання аналогових телевізійних передавачів не існує.

У зв'язку з безперервною зміною форми спектра ТВ сигналу в процесі передавання інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювання передавачів ТВ мовлення здійснюється в режимі „утримання” максимального значення складників спектра (режим MAX HOLD).

В разі застосування портативного обладнання (наприклад, аналізатора спектра) для оцінювання *напруженості електромагнітного поля* ТВ сигналу доцільно застосовувати режим середньоквадратичної функції детектора, а для оцінювання (у разі необхідності) *напруженості електромагнітного поля* сигналу звукового супроводу - режим лінійно або логарифмічно усередненої функції детектора [1]. За результатами вимірювання рівнів потужностей сигналів зображення та звукового супроводу визначається їхнє співвідношення, яке повинно становити від 5:1 до 10:1.

*Несуча частота* зображення (звукового супроводу) визначається як частота максимального складника спектра сигналу зображення (звукового супроводу).

*Ширина займаної смуги частот* визначається методом вимірювання за критерієм X дБ на рівні мінус 26 дБ [14].

### 8.6.3 Особливості радіомоніторингу випромінювання передавачів цифрового телевізійного мовлення стандарту DVB-T

За результатами аналізу особливостей організації мереж цифрового ТВ мовлення, а також з урахуванням низьких вихідних потужностей передавачів і, як наслідок, низьких рівнів напруженості електромагнітного поля, потрібно відмітити, що проведення моніторингу в смугах частот, виділених для систем цифрового ТВ мовлення стаціонарними засобами практично не можливе. Моніторинг спектра в цих смугах радіочастот доцільно проводити переважно із застосуванням *мобільних засобів*.

Підставами для проведення радіомоніторингу можуть бути:

- планові та (чи) позапланові завдання;
- запити щодо перевірки результатів розрахунків умов ЕМС;
- надходження заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- визначення стану використання РЧР і наявності вільного для використання РЧР.

Технічний радіоконтроль параметрів випромінювань передавачів цифрового ТВ мовлення проводиться шляхом використання багатофункціональних мобільних комплексів радіомоніторингу, спеціалізованих мобільних станцій технічного радіоконтролю та портативного обладнання радіоконтролю:

- під час виконання планових і (або) позапланових завдань;
- для вимірювання електричних параметрів радіовипромінювання передавачів, які за результатами радіомоніторингу порушують вимоги нормативних документів та дозволів на експлуатацію;
- в разі наявності заяв від користувачів РЧР щодо вимірювання параметрів радіовипромінювання певного передавача;
- з метою оцінювання показників надання послуг (визначення зон обслуговування та оцінювання показників якості обслуговування).

Враховуючи конструктивні особливості побудови більшості стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу (зокрема. їхню обмежену можливість просторової селекції випромінювань через відсутність відповідних направлених антен), здійснення інструментального оцінювання параметрів передавачів у мережах SFN (коли всі передавачі працюють на однакових частотах) вимагає проведення попередньої ідентифікації випромінювань, у тому числі, шляхом пеленгування та визначення місцезнаходження їхніх передавачів.

Під час технічного радіоконтролю може проводитися вимірювання (інструментальне оцінювання) таких параметрів:

- частота радіовипромінювання;
- ширина займаної смуги частот;
- напруженість електромагнітного поля;
- напруженість електромагнітного поля вздовж маршруту мобільного комплексу радіомоніторингу.

Крім того, визначаються такі характеристики:

- якість телевізійного сигналу;
- якість обслуговування (QOS).

**Частота** радіовипромінювання визначається як середня частота займаної смуги частот, за якою визначається **номер каналу**.

**Ширина займаної смуги частот** може визначатися як із застосуванням методу вимірювання за критерієм X дБ (на рівні мінус 25 дБ [14]) у разі високого (понад 30 дБ) відношення сигнал/шум, так і за критерієм відношення потужностей (1/2-методом) для низького рівня відношення сигнал/шум (із обов'язковим застосуванням направлених антен).

**Напруженість електромагнітного поля** в разі використання портативного обладнання (аналізатора спектра) вимірюється із застосуванням пікового детектора [1].

Вимірювання **напруженості електромагнітного поля вздовж маршруту** мобільного комплексу радіомоніторингу проводяться з метою визначення **зони радіопокриття** певного передавача чи мережі цифрового ТВ мовлення спеціалізованими МКРМ.

Для визначення **якості послуг (QoS)** і **якості обслуговування (QOS)** у мережах цифрового ТВ мовлення стандарту DVB-T необхідно застосовувати спеціалізоване обладнання типу TMSU, TMSQ, TMSL із комплексом ПЗ „ROMES”.

## 8.7 Системи стільникового рухомого зв'язку

### 8.7.1 Призначення та основні принципи організації мереж стільникового рухомого зв'язку

Системи наземного стільникового мобільного зв'язку нині є найпоширенішими представниками рухомої радіослужби.

Стосовно процесу розвитку систем стільникового зв'язку розрізняють їхні три покоління.

До першого покоління (1-st Generation, **1G**) відносять системи стільникового рухомого зв'язку, які базуються на застосуванні аналогових сигналів. Друге покоління (2-nd Generation, **2G**) систем стільникового рухомого зв'язку представлене системами, що застосовують методи формування, приймання та оброблення цифрових сигналів. Третє покоління (3-rd Generation, **3G**) систем стільникового радіозв'язку - це універсальні системи рухомого зв'язку.

До першого покоління систем стільникового рухомого зв'язку відносять такі аналогові системи [147]:

- AMPS (Advanced Mobile Phone Service) - удосконалена мобільна телефонна служба - система мобільного телефонного зв'язку, що призначена для роботи в діапазоні частот 800 МГц (свого часу була найпоширенішою системою стільникового рухомого зв'язку на американському континенті та в Австралії):

- TACS (Total Access Communication System) - загальнодоступна система зв'язку для діапазону частот 900 МГц, яка свого часу набула поширеного застосування в деяких країнах Європи, зокрема, у Великій Британії, Іспанії, Італії, Австрії (в 1995 році займала друге місце у світі серед аналогових систем за кількістю абонентів);

- ETACS (England TACS), JTACS/NTACS (Japan TACS/Nippon TACS) - модифікації системи TACS, які працювали в тому ж діапазоні частот;

- NMT-450. NMT-900 (Nordic Mobile Telephone system) - системи стільникового рухомого зв'язку Скандинавських країн відповідно для діапазонів частот

450 МГц і 900 МГц, які набули поширеного застосування у скандинавських і деяких інших країнах (свого часу займали друге місце в Європі за кількістю абонентів);

- C-450 - система стільникового рухомого зв'язку обмеженого застосування для діапазону 450 МГц, яка використовувалася лише в Німеччині та Португалії;

- RMTS (Radio Telephone Mobile System) - мобільна радіотелефонна система обмеженого застосування, що використовувалася лише в Італії;

- NTT (Nippon Telephone and Telegraph system) - японська система телефонного та телеграфного зв'язку, що призначалася для роботи в діапазоні частот (800 - 900) МГц.

Організація мереж зв'язку в усіх системах аналогового рухомого зв'язку 1G ґрунтується на застосуванні методу множинного доступу із частотним розділенням каналів (FDMA), причому для формування сигналів передавання інформаційних повідомлень (сигналів мовлення) використовується ЧМ, а для сигналізації (передавання сигналів управління - signaling) - частотна маніпуляція.

З усіх систем стільникового мобільного зв'язку покоління 1G найпоширенішими були системи стандартів NMT-450 і AMPS, порівнювальні технічні параметри та характеристики яких наведені в табл. 8.14. Але у зв'язку з тим, що згідно з [19] граничний термін використання систем NMT-450 в Україні - 30.06.2006 р., а інші системи аналогового стільникового зв'язку покоління 1G в Україні не застосовуються, докладно ці системи не розглядаються.

Робота переважної більшості систем стільникового зв'язку покоління 2G ґрунтується на організації мереж зв'язку з використанням методу множинного доступу із часовим розділенням каналів (TDMA) та методів формування й оброблення цифрових сигналів. Найпоширенішими представниками систем стільникового рухомого зв'язку покоління 2G є:

- GSM-900 (Global System for Mobile communication) - глобальна система мобільного зв'язку, для якої виділений діапазон частот 900 МГц;

- DCS-1800 (Digital Communication System) - цифрова система зв'язку, яка є пролонгацією системи GSM-900 для діапазону частот 1800 МГц;

- D-AMPS (Digital AMPS) - за походженням являє собою цифрову модернізацію системи AMPS і працює в діапазонах частот 800 МГц і 1900 МГц;

- GSM-1900 - американський варіант системи стільникового рухомого зв'язку DCS-1800, який отримав назву PCS (Personal Communication Systems) і призначений для роботи в діапазоні частот 1900 МГц;

- JDC (Japan Digital Communication) - японська система стільникового рухомого зв'язку, що призначена для роботи в діапазоні частот від 800 МГц до 1500 МГц.

Таблиця 8.14 - Технічні параметри та характеристики систем стільникового зв'язку NMT-450 і AMPS

Назва параметра, характеристики	NMT-450	AMPS
Смуга частот, МГц: - на лінії „вгору” - на лінії „вниз”	від 453,0 до 457,5 від 463,0 до 467,5	від 24,01 до 848,97 від 69,01 до 893,97
Метод множинного доступу	FDD	FDD
Рознесення каналів „вниз”/„вгору”, МГц	10	45
Ширина смуги частот, кГц	25	30
Радіус стільника, км	від 2 до 45	від 2 до 20
Кількість каналів абонентської станції	180	666
Кількість каналів базової станції	30	96
Максимальна девіація, кГц: - в каналі управління - в каналі мовлення	3,5 5,0	8,0 12,0
Вид модуляції сигналу в каналі управління	FFSK	FSK
Швидкість передавання, кбіт/с	1,2	10,0
Потужність передавача, Вт: - базової станції, не більше - абонентської станції - мобільного терміналу, не більше	50 від 1,5 до 15 0,15	45 від 1 до 12
Мінімальне відношення сигнал/шум, дБ	15	10

Крім зазначених, до систем стільникового рухомого зв'язку другого покоління відносяться також системи CDMA-800 і CDMA-450, які працюють, відповідно, в діапазонах радіочастот 800 МГц та 450 МГц. Організація мереж зв'язку обох систем базується на використанні методу множинного доступу з кодовим розділенням каналів (CDMA).

Системи стільникового зв'язку покоління 3G як універсальні системи рухомого зв'язку базуються на застосуванні принципово нових підходів до побудови мереж зв'язку. Загальна концепція розвитку систем третього покоління ґрунтується на застосуванні таких принципів їхньої побудови:

- 1) зв'язок усюди та завжди;
  - 2) єдиний інформаційний простір;
  - 3) єдиний частотний простір;
  - 4) застосування мобільних терміналів;
  - 5) об'єднання мереж рухомого (мобільного) та стільникового зв'язку.
- Організація цих мереж зв'язку передбачає забезпечення інтеграції

мереж наземного та супутникового зв'язку.

Перехід до систем стільникового рухомого зв'язку покоління 3G базується на Концепції IMT-2000 (International Mobile Telecommunication), головна мета якої - створення універсальної системи рухомого зв'язку. Європейський варіант цієї концепції отримав назву UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). На підставі рішення Європейської комісії радіозв'язку ERC (European Radiocommunications Committee) в Європі для UMTS були виділені смуги частот у діапазоні 2000 МГц.

Європейський підхід до розподілу смуг радіочастот практично співпадає із запропонованим МСЕ в рамках концепції IMT-2000 (крім смуги частот шириною 15 МГц у цьому діапазоні, раніше виділеної для стандарту DECT).

Організація мереж стільникового рухомого радіозв'язку базується на таких основних принципах [147, 148]:

- формування загальної зони обслуговування шляхом об'єднання зон, які створюються окремими РЕЗ (базовими станціями);
- створення зон обслуговування базових станцій (стільників) шляхом об'єднання окремих зон, створених у різних напрямках (секторах) роботи цих станцій за рахунок застосування секторних антен для частотно-просторового рознесення;
- забезпечення єдиного центру управління роботою всіх елементів мережі (ієрархічна структура мережі);
- застосування повторного використання радіочастот у мережі за рахунок обмеження вихідної потужності передавачів базових станцій і регулювання, таким чином, розмірів стільників;
- забезпечення безперервності надання послуг зв'язку під час переміщення рухомого абонента з одного стільника до іншого.

Для забезпечення оптимального розділення загальної зони обслуговування на стільники їхня конфігурація може мати вигляд однієї з трьох геометричних фігур: трикутник, квадрат, шестикутник. У разі застосування першого виду конфігурації інтервал між стільниками, в яких використовуються однакові частоти, зазвичай, більший, ніж вимагається для підтримки рівня взаємних радіозавад на припустимому рівні. В цьому сенсі більш прийнятною є форма стільника у вигляді квадрата, але найбільшу увагу привертає конфігурація стільника у вигляді шестикутника, оскільки в разі розташування антени базової станції в його центрі забезпечується доступ до всіх ділянок стільника.

Застосування принципу повторного використання радіочастот (frequency reuse) дозволяє ефективніше використовувати РЧР. Цей принцип базується на просторовому розподілі груп частот із загальної смуги частот, яка виділена для певного оператора. Група із  $\Gamma$  стільників (рис. 8.19, а) із різними наборами частот називається **кластером**. Визначальним параметром кластера є кількість різних частот, які застосовуються в його межах. Величина  $S$  визначає мінімально можливу кількість частотних каналів у системі, тому її часто називають **частотним параметром системи** або **коефіцієнтом повторення частот**. Коефіцієнт  $S$  не залежить від кількості частот у наборі й збільшується зі зменшенням радіусу стільника.

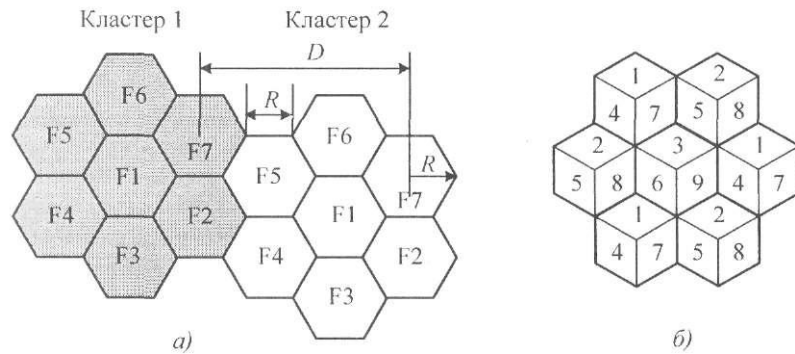


Рис. 8.19. Моделі повторного використання радіочастот

В системах стільникового рухомого зв'язку першого покоління, як правило, в базових станціях використовувалися антени з круговими ДН, унаслідок чого сигнали однакової потужності випромінювалися в усіх напрямках, що для абонентських станцій еквівалентно прийманню радіозвад з усіх напрямків. За умови виділення кожній базовій станції набору з  $t$  каналів із шириною смуги частот  $F_K$  кожний загальна ширина смуги частот  $f_c$ , займана мережею стільникового зв'язку, становить

$$f_c = t F_K. \quad (8.6)$$

Відстань  $D$  між базовими станціями, за якою припускається повторне використання певного набору частот, називається **захисним інтервалом** (рис. 8.19, а). Значення захисного інтервалу залежить від радіуса стільника  $R$ , припустимого рівня радіозвад і умов поширення радіохвиль, але в загальному випадку для кластера з  $N$  стільників воно може бути визначено за формулою

$$D = \sqrt{3NR}. \quad (8.7)$$

Величина  $f_c/N$ , яка обернено пропорційна кількості стільників у кластері, іноді називається **коефіцієнтом ефективності** повторного використання частот або **коефіцієнтом повторного використання частот**.

Зменшення радіуса стільника не тільки збільшує ефективність використання виділеної смуги частот і абонентську ємність системи, а й дозволяє зменшити потужність передавачів і чутливість приймачів базових та абонентських станцій, що, у свою чергу, поліпшує умови ЕМС систем стільникового зв'язку з іншими системами. Ефективним способом зменшення рівня радіозвад є застосування секторних антен із вузькими ДН. Розподіл стільників на окремі сектори дозволяє частіше застосовувати повторне використання частот у стільниках. Загальновідомий спосіб повторного використання базується на застосуванні трьох секторних антен (із шириною ДН  $120^\circ$ ) для кожної базової станції та трьох сусідніх базових станцій з формуванням дев'яти груп частот (рис. 8.19, б).

Вищу ефективність використання смуги частот (і, відповідно, найбільшу кількість абонентів у мережі) забезпечує спосіб, розроблений фірмою Motorola (США), за якого задіюються дві базові станції. В разі реалізації цього способу (рис. 8.20) кожна частота використовується двічі в межах кластера, який складається із чотирьох стільників. Кожна базова станція може працювати на 12 частотах, при цьому використовуються антени з ДН шириною  $60^\circ$ .



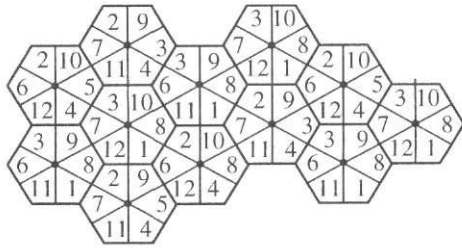


Рис. 8.20 Оптимальна модель повторного використання частот

Загальна структура побудови мережі системи стільникового зв'язку зображена на рис. 8.21.

Основні елементи системи стільникового зв'язку такі:

- центр управління та обслуговування (OMC, Operation and Maintenance Centre);
- центр комутації рухомого зв'язку (MSC, Mobile Switching Centre);
- обладнання базових станцій (BSS, Base Station System);
- рухомі станції (MS, Mobile Station).

Центр управління та обслуговування OMC є центральним елементом мережі, який забезпечує контроль та управління іншими складниками мережі, а також контроль якості її роботи.

Центр комутації рухомого зв'язку MSC обслуговує групу стільників та забезпечує всі види з'єднань для мобільних станцій, у тому числі, маршрутизацію викликів і функції управління викликами та комутації радіоканалів.

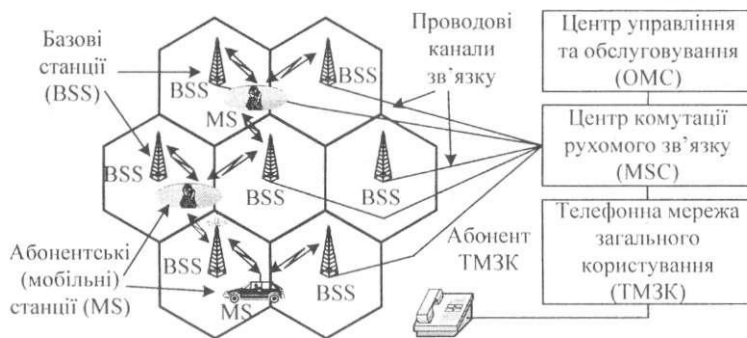


Рис. 8.21. Загальна структура побудови мережі системи стільникового зв'язку

Кожен зі стільників обслуговується багатоканальним РЕЗ, який називається базовою станцією.

Незважаючи на велике різноманіття існуючих стандартів зв'язку алгоритми їхнього функціонування відрізняються не суттєво. В режимі очікування приймач абонентського терміналу сканує частотні канали. В разі отримання сигналу виклику від однієї з базових станцій абонентська станція надсилає повідомлення одним із каналів управління, яке приймається базовими станціями та надсилається до центру комутації. Центр комутації забезпечує з'єднання абонентської станції з базовою станцією, що зафіксувала сигнал найвищого рівня. У випадку зменшення рівня сигналу центр комутації автоматично переключує абонента на інший канал або підключає до іншої базової станції. Така процедура, що забезпечує безперервність зв'язку під час переміщення рухомого абонента з одного стільника до іншого та перемикавання робочих каналів у стільнику в разі

появи радіозавад або пошкоджень називається передаванням управління за викликом або естафетним передаванням (*handover, handoff*).

### 8.7.2 Системи цифрового стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800 8.7.2.1 Загальні відомості про системи GSM-900 і DCS-1800

Системи стільникового мобільного зв'язку європейського стандарту GSM - GSM-900 і DCS-1800 нині є найпоширенішими у світі системами стільникового зв'язку другого покоління.

Системи GSM-900 і DCS-1800 базуються на [147-150]:

- застосуванні цифрових способів передавання та оброблення інформації;
- застосуванні ефективних щодо використання РЧР методів модуляції (GMSK) у сполученні з часовим розділенням каналів (TDMA), просторовим рознесенням базових станцій (SDMA) і частотним рознесенням (FDMA) прийомо-передавачів;
- використанні спеціальних методів боротьби із завмираннями сигналів шляхом застосування режиму передавання з повільною стрибкоподібною зміною частоти (SFH, Slow Frequency Hopping);
- тестуванні каналу зв'язку за допомогою псевдовипадкової (відомої на приймальній стороні) послідовності;
- використанні блокового та згорткового кодування.

Усі ці чинники забезпечують приймання сигналів із відношенням сигнал/радіозавада 9 дБ (порівняно з 18 дБ для аналогових систем стільникового зв'язку та 16 дБ для системи D-AMPS).

Системи стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800 забезпечують передавання як мовної інформації, так і пакетних повідомлень.

Структура мережі систем зв'язку GSM-900 і DCS-1800 є типовою для систем рухомого стільникового зв'язку і зображена на рис. 8.22.

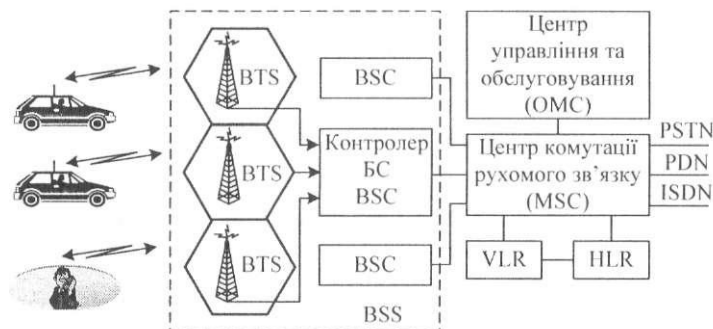


Рис. 8.22. Загальна структура мережі систем стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800

Особливе місце в системах зв'язку GSM-900 займають інтерфейси на базі системи сигналізації SS N7 (ОКС-7), яка використовується для зв'язку з іншими мережами рухомого зв'язку та зовнішніми стаціонарними (фіксованими) мережами, такими як мережа телефонного зв'язку загального користування ТМЗК (PSTN, Public Switched Telephone Network), мережами пакетного передавання PDN (Packet Data Network) та мережами з інтеграцією служб ISDN (Integrated Services Digital Network) і забезпечує маршрутизацію викликів і функцію управління викликами. Реалізацію цих завдань безпосередньо забезпечує центр комутації MSC.

Крім того, центр комутації MSC забезпечує постійне стеження за рухомими об'єктами, використовуючи реєстри місцезнаходження (HLR, Home Location Register) і переміщення (VLR, Visited Location Register). У реєстрі HLR зберігається та частина інформації про місцезнаходження будь-якої мобільної станції, яка дозволяє центру комутації доставити виклик, тобто реєстр місцезнаходження фактично являє собою довідкову базу абонентів, які зареєстровані в даній мережі.

Цей реєстр містить також міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента (IMSI, International Mobile Subscriber Identity), який використовується для ідентифікації рухомої станції в центрі автентифікації.

В мережі стільникового зв'язку стандарту GSM стільники групуються в географічні зони (LA, Local Area), кожній з яких присвоюється свій ідентифікаційний номер (LAC, Location Area Code). Реєстр переміщення забезпечує контроль за переміщенням рухомої станції з одного стільника до іншого. Якщо рухомий абонент знаходиться в певній зоні, то інформація щодо його місцезнаходження зберігається в реєстрі переміщення цієї зони до тих пір, доки абонент знаходиться в її межах. У разі його переміщення до іншої зони інформація стосовно даного абонента записується в реєстр переміщення, який відповідає за цю зону, що забезпечує визначення місцезнаходження абонента та його естафетне передавання до іншого стільника.

Обладнання підсистеми базових станцій складається з контролера базових станцій BSC і безпосередньо базових станцій BTS. Один контролер може управляти декількома станціями.

Контролер виконує такі функції:

- управляє розподілом радіоканалів;
- контролює з'єднання та регулює їхню черговість;
- забезпечує режим роботи зі стрибкоподібною зміною частоти;
- забезпечує модуляцію й демодуляцію сигналів, кодування та декодування повідомлень, адаптацію швидкості передавання сигналів мовлення та даних і сигналів виклику;
- визначає черговість передавання повідомлень персонального виклику.

Як було зазначено раніше, системи стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800 базуються на використанні методу часового розділення каналів (TDMA). Розв'язання каналів приймання та передавання забезпечується за рахунок застосування їхнього дуплексного рознесення шляхом використання різних смуг радіочастот (радіочастотних каналів) на лінії від базової станції до абонентського (мобільного) терміналу (на лінії „вниз“) і від абонентського терміналу до базової станції (на лінії „вгору“).

Для зменшення рівнів співканальних радіозавад (у співпадаючих частотних каналах) зона радіопокриття кожної базової станції забезпечується шляхом застосування направлених (секторних) антен. При цьому сигнал випромінюється в досить вузькому секторі (від 120° до 60°), а рівень випромінювання в протилежному напрямку зменшується до мінімуму, що дозволяє частіше повторно використовувати частоти в стільниках із одночасним зниженням рівня радіозавад.

Ємність мережі залежить від кількості каналів зв'язку в стільнику  $N$  і для стандартів із застосуванням часового розділення каналів (TDMA) визначається за формулою

$$N = F / (k \times f), \quad (8.8)$$

де  $F$  – ширина загальної смуги частот системи;

$f = F_k / n$  – ширина еквівалентної смуги частот, що припадає на один канал;

$F_k$  – ширина смуги частот одного радіоканалу;

$n$  – кількість часових позицій (тайм-слотів) в одному кадрі TDMA;

$F/f$  – кількість мовних каналів зв'язку;

$k$  – коефіцієнт повторного використання частот.

Зазвичай кількість каналів за розділення TDMA кратна 8. При цьому один із них є каналом управління ССН (Control Channel). Він також може використовуватися як канал виклику. Будь-який канал системи стільникового зв'язку представляє собою пару дуплексних каналів, які рознесені за частотою для покращення якості фільтрації сигналів і виключення взаємного впливу передавача на РППІ.

На початку свого розвитку мережі систем стільникового зв'язку створювалися переважно шляхом розгортання макростільників. Але різке зростання навантаження на стільники призвело до необхідності переходу до мікростільникової структури мереж. У разі зменшення розмірів стільників до кількох сотень метрів ємність мережі може бути збільшена в (5 - 10) разів порівняно з макростільниковою структурою. Нині мікростільникова структура систем стільникового зв'язку органічно поєднується з макростільниковою.

З віддаленням абонента від базової станції рівень сигналу мобільної станції (терміналу) зменшується, що призводить до погіршення якості зв'язку. Покращення якості зв'язку забезпечується шляхом автоматичного переключення абонента на інший канал зв'язку іншої базової станції (*handover. handoff*). Для контролю таких ситуацій в базовій станції застосовується спеціальний РПП, який періодично вимірює рівні сигналів мобільних стільникових терміналів. За результатами порівняння рівнів сигналів від певного мобільного стільникового терміналу, отриманих на кількох базових станціях, центр комутації переключає його на ту базову станцію, де рівень сигналу максимальний.

Технічні параметри та характеристики систем GSM-900 і DCS-1800 наведені в табл. 8.15 [151].

Згідно з [19] для систем стандарту GSM-900 в Україні виділені парні смуги частот від 890 МГц до 915 МГц (на лінії „вгору“) і від 935 МГц до 960 МГц (на лінії „вниз“), для систем стандарту DCS-1800 відповідно - (1710-1785) МГц (на лінії „вгору“) і (1805 -1880) МГц (на лінії „вниз“).

Таблиця 8.15 - Технічні параметри та характеристики систем GSM-900 і DCS-1800

Кожна зі смуг частот, що виділені для мереж стандарту GSM, поділяється на частотні канали. Рознесення між каналами становить 200 кГц, що дозволяє

Назва характеристики, параметра	Система	
	GSM-900	DCS-1800
Робочий діапазон частот, МГц - лінія „вниз” - лінія „вгору”	від 935 до 960 від 890 до 915	від 1805 до 1880 від 1710 до 1785
Метод доступу	TDMA / FDMA	
Кількість мовних каналів на одну несучу частоту	8	
Дуплексне рознесення, МГц	45,0	95,0
Рознесення каналів, кГц	200	
Вид модуляції	0,3 GSMK	
Швидкість передавання повідомлень радіоканалом, кбіт/с	270,833	
Ширина смуги гаусівського фільтра, кГц	81,2	
Радіус стільника, км	від 0,5 до 35,0	
Еквівалентна смуга частот на один мовний канал, кГц	25	
Кількість частотних каналів у діапазоні робочих частот	124	374
Клас радіовипромінювання	271KF7W, 271KG7W 200KG7W, 200KG7CD	271KF7W, 271KG7W, 200KG7ED

організувати в мережах стандарту GSM-900 124 частотні канали. Значення несучих частот (у МГц) на лінії „вниз”  $F1(n)$  і на лінії „вгору”  $Fu(n)$  визначаються за формулами:

$$F1(n) = 935,2 + 0,2(n-1), \quad (8.9)$$

$$Fu(n) = 890,2 + 0,2(n-1), \quad (8.10)$$

де  $n$ - порядковий номер каналу ( $1 < n < 124$ ).

В мережах стандарту DCS-1800 організовано 374 частотні канали. Значення несучих частот (в мегагерцах)  $F1(n)$  і  $Fu(n)$  визначаються за формулами:

$$F1(n) = 1805,2 + 0,2(n-1), \quad (8.11)$$

$$Fu(n) = 1710,2 + 0,2(n-1), \quad (8.12)$$

де  $n$  - порядковий номер каналу ( $1 < n < 374$ ).

Окрім „класичних" систем стільникового зв'язку стандарту GSM загального застосування також використовуються системи, призначені для обмеженого застосування, наприклад, E-GSM - для відомчого зв'язку та R-GSM - для зв'язку на залізничному транспорті, які базуються на використанні технологій стандарту GSM, але в інших смугах частот. Для них в Україні виділені парні смуги частот:

- для E-GSM - від 880 МГц до 890 МГц (на лінії „вгору") і від 925 МГц до 935 МГц (на лінії „вниз");
- для R-GSM - від 876 МГц до 880 МГц (на лінії „вгору") і від 921 МГц до 925 МГц (на лінії „вниз").

Для перетворення сигналів мовлення використовується кодек RPE/LTP-LPC (Regular-Pulse Excitation/Long-Term Prediction Linear Predictive Coding) з регулярним імпульсним збудженням і швидкістю перетворення сигналів 13 кбіт/с. Оброблення сигналів мовлення в стандарті GSM здійснюється в рамках дії системи переривчастого передавання мовлення DTX (Discontinuous Transmission), яка забезпечує включення передавача лише тоді, коли користувач починає розмову, і відключає його на час паузи та після закінчення розмови.

Для захисту від помилок в радіоканалі застосовується згорткове й блокове кодування з перемежовуванням, причому в різних логічних каналах застосовуються різні згорткові коди.

У стандарті GSM застосовується модуляція GMSK, якій властиві [152]:

- постійна за рівнем обвідна, що дозволяє використовувати передавальні засоби з підсилювачем потужності класу С;
- висока завадостійкість каналу зв'язку;
- вузький спектр сигналу на виході підсилювача потужності передавача, що забезпечує низький рівень позасмугових випромінювань.

Як відомо, значення ширини смуги частот ЧМ сигналу залежить від індексу ЧМ /?, який визначається за формулою

частоти. Для  $\beta = 0,5$  швидкість маніпуляції  $\nu$  визначається за формулою

$$\nu = 4 \Delta f. \quad (8.14)$$

Для значення девіації частоти  $\Delta f = 67,733$  кГц частота  $F$  бітової послі-

$$\beta = \Delta f / F, \quad (8.13)$$

де  $\Delta f$  - девіація (зсув) фази;  
 $F$  - частота модуляції.

Характер зміни фази залежить від форми модулюючої функції частоти.

Для вузькосмугової модуляції, що характеризується малим індексом модуляції ( $/? < 0,5$ ), спектр сигналу зосереджується, в основному, в смузі частот, яка визначається подвоєною шириною смуги частот сигналів, які модулюють високочастотне коливання. В разі застосування модуляції GMSK відбувається не маніпуляція фази, а „набіг" фази, зумовлений маніпуляцією довності в стандарті GSM становить  $\nu = 270,833$  кГц, а ширина смуги пропускання  $B$  гаусівського фільтра в разі застосування модуляції 0,3GMSK дорівнює  $B = 0,3 \times \nu = 81,3$  кГц.

З урахуванням прийнятої в системах стільникового зв'язку класифікації мобільних станцій, яка відповідає 5 класам в залежності від вихідної потужності передавача (від 0,8 Вт до 20 Вт). у стандарті GSM-900 використовуються мобільні термінали 4 і 5 класів (із вихідною потужністю передавачів відповідно 2 Вт і 0,8 Вт). Автомобільні та стаціонарні телефони в стандарті GSM-900 відносяться до 1 - 3 класів. Мобільні станції (термінали) в стандарті DCS-1800 поділяються на 2

класи. Відповідно до стандарту на систему стільникового зв'язку GSM-900 потужність передавачів базової станції може становити від 2,5 Вт до 320 Вт.

У структурі GSM строго визначені часові характеристики обвідної сигналу на каналному інтервалі кадру TDMA та спектральна характеристика сигналу. Часова маска обвідної спектра для сигналів, які використовуються для передавання інформації каналами зв'язку та управління (NB, Normal Burst), зображена на рис. 8.23 [149].

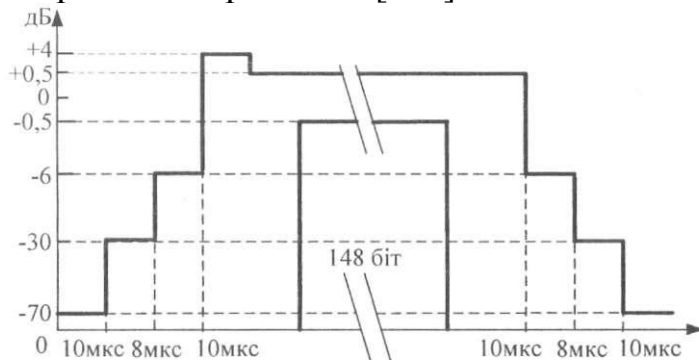


Рис. 8.23. Часова маска обвідної для сигналів NB, DB, FB, SB

Передавання інформації в стандарті GSM у разі часового розділення каналів здійснюється TDMA-кадрами тривалістю 4,615 мс кожний. В одному TDMA-кадрі міститься 8 часових інтервалів (тайм-слотів), в яких може передаватися інформація 8 мовних (фізичних) каналів. TDMA-кадри об'єднуються в мультикадри (тривалістю 26 або 51 TDMA-кадрів), які, у свою чергу, об'єднуються в суперкадри й далі - в гіперкадри. Загальна часова тривалість одного гіперкадра становить близько 3,5 год. Таким чином сигнал, що випромінюється передавачем, являє собою практично безперервне випромінювання у вигляді послідовності радіоімпульсів тривалістю близько 531,4 мкс, розділених часовими захисними інтервалами тривалістю 30,4 мкс.

Відносні рівні позасмугових і побічних випромінювань для передавачів стандартів GSM наведені в табл. 8.16 [153], а нормована спектральна характеристика сигналу стандарту GSM зображена на рис. 8.24 [149].

Таблиця 8.16- Відносні рівні позасмугових і побічних випромінювань для систем GSM-900 і DCS-1800

Маска передавача	
Відхилення частоти, кГц	Рівень
- 1200,1	- 36 дБм
- 1200	- 60 дБ
- 400	- 60 дБ
- 250	- 33 дБ
- 200	- 30 дБ
- 100	0 дБ
100	0 дБ
200	- 30 дБ
250	- 33 дБ
400	- 60 дБ
1200	- 60 дБ
1200,1	- 36 дБм

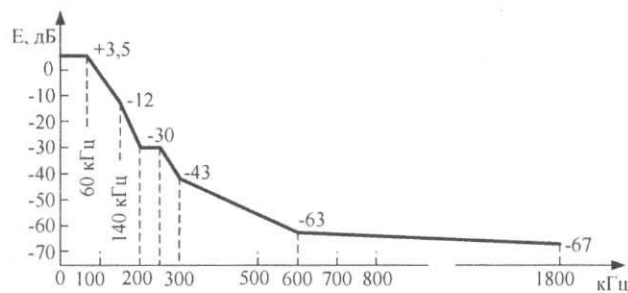


Рис. 8.24. Нормативна спектральна характеристика сигналу стандарту GSM

Спектри сигналів в одному каналі стандарту GSM у діапазонах частот 900 МГц (GSM-900) і 1800 МГц (DCS-1800) зображені відповідно на рис. 8.25 і рис. 8.26.

З метою запобігання можливого тривалому завмиранню результуючого сигналу внаслідок інтерференції кількох сигналів, які в результаті їхнього багатопроменевого поширення надійшли в один пункт, де знаходиться абонент (при цьому орієнтуються на абонентів які переміщуються з досить малою швидкістю), застосовується режим передавання з повільною стрибкоподібною зміною частоти (метод SFH). Завдяки цьому забезпечується більша



ефективність кодування та перемешування для сигналу, що приймає абонент із малою швидкістю переміщення. Основне призначення методу SFIT - це забезпечення частотного рознесення в радіоканалах, які функціонують за умови багатопроменевого поширення радіохвиль. Принцип повільної стрибкоподібної зміни частоти полягає в тому, що частота випромінювання в одному секторі базової станції змінюється за псевдовипадковим законом із періодом, який дорівнює тривалості TDMA-кадру (4,615 мс), що відповідає швидкості 217 змін частоти за секунду. Таким чином, у кожному наступному кадрі сигнали передаються (приймаються) на новій фіксованій частоті. Час перестроювання становить близько 1 мс. Під час такої стрибкоподібної зміни частоти зберігається дуплексне рознесення частоти між каналами приймання та передавання рівне 45 МГц.

Для виключення взаємних радіозавад під час приймання абонентами повідомлень усім активним абонентам, які знаходяться в одному стільнику, ставляться у відповідність ортогональні формуючі послідовності. Ортогональність послідовностей переключення частот (частотно-часова матриця) призначається для кожної мобільної станції в процесі встановлення з'єднання каналу шляхом задання початкового зсуву однієї й тої ж послідовності, яка формується згідно з алгоритмом формування.

Поряд із передаванням звукової інформації (в режимі телефонного зв'язку) системи стільникового зв'язку стандартів GSM-900 і DCS-1800 можуть використовуватися для передавання даних. В системах GSM-900 і DCS-1800 використовуються сигнали із класами радіовипромінювання **271KF7W**, **271KG7W**, **200KG7W**, **200KG7CD**. Такі значні відмінності в позначенні класу радіовипромінювання можна пояснити не дотриманням окремими виробниками засобів телекомунікацій єдиних вимог щодо позначення ширини необхідної смуги частот. Крім цього, символ „С" у класі радіовипромінювання **200KG7CD**, який згідно з міжнародною системою позначення радіосигналів відповідає факсимільному зв'язку (див. Додаток Е), на практиці фіксує застосування послуги передавання повідомлень SMS.

Одне з перших рішень, запропонованих для вдосконалення можливостей мереж мобільного зв'язку базувалося на впровадженні схеми високо-швидкісного передавання даних комутованими каналами HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), яка передбачала об'єднання кількох канальних інтервалів. Так, у разі об'єднання двох каналів можлива швидкість 19,2кбіт/с (2 x 9,6 кбіт/с) на лінії „вгору" і 28,8 кбіт/с (2x 14,4 кбіт/с) на лінії „вниз". Збільшення швидкості (до 38,4біт/с) потребує модернізації обладнання мобільних терміналів, а подальше збільшення швидкості (до 76.8 кбіт/с) обмежується можливостями інфраструктури мережі.

Революційним етапом розвитку системи GSM та еволюції її мереж від GSM до UMTS був перехід від мереж із комутацією каналів до мереж із комутацією пакетів, із проміжним етапом впровадження технології пакетного передавання даних GPRS (General Packet Radio Service), яка дозволяє надавати послуги, аналогічні послугам мереж рухомого зв'язку покоління 3G, але на базі застосування стандарту GSM-900 [149, 154).

Функціонально канали системи GPRS „надбудовуються" над каналами мережі GSM і використовують ту ж саму структуру тайм-слотів: 114 інформаційних бітів,

<p>службова та синхронізуюча послідовність каналів використання ємністю 4x 114 які послідовно передаються в тайм-слотах кадрів. системи GPRS на використанні передавання одного кількох (від 1 слотів в одному кадрі. що забез- більшу, із системою GSM, швидкість передавання даних - від 9,6 кбіт/с до 8 x 9,6 кбіт/с.</p>	Послуга передавання даних	Максимальна швидкість передавання даних, кбіт/с		<p>інформація</p> <p>Особ- пакетних блоків = 456 бітів, тих же чотирьох Переваги базуються для даних абонента до 8) тайм-TDMA- печує порівняно</p>	
		На лінії „вгору”	На лінії „вниз”		
	Доступ до баз даних	9,6	28,8		
	Перегляд Web-сторінок	9,6	від 9,6 до 28,8		
	Електронна пошта	від 9,6 до 28,8			
	Відео конференцзв'язок (H.324)	28,8			
	Повільні медіа зображення	від 9,6 до 19,2			
	Електронні вісті	9,6	28,8		
	Передавання даних (Формат UDI)	від 9,6 до 64			
	Аудіовізуальна інформація (Формат MPEG-4)	9,6	64		
Відеотелефонія (H.320)	від 64 до 384				

Система GPRS забезпечує такі режими передавання:

- „пункт - пункт”;
- „пункт - багато пунктів”;
- „пункт - пункт” без установлення з'єднання;
- „пункт - пункт” зі встановленням з'єднання.

Різні послуги висувають різні вимоги до швидкості передавання даних у системі GPRS, що відмічено в табл. 8.17 [154].

Наступним кроком на шляху збільшення швидкості передавання даних у системах GPRS стала радіотехнологія вдосконаленого передавання даних у мережах GSM - EDGE (Enhanced Data for Global Evolution), яка ґрунтується на застосуванні нових ефективніших щодо використання РЧР видів модуляції, завадостійкого кодування (алгоритмів адаптації каналів зв'язку до вимог абонентів і заводової обстановки), переходу до напівшвидкісного режиму та застосуванні багатосекторних антен. Основні технічні параметри та характеристики радіотехнології EDGE наведені в табл. 8.18. В разі організації передавання інформації в локальних зонах радіопокриття в мережах GSM, які базуються на застосуванні технології EDGE, використовується класичний (для технології GSM) метод модуляції GMSK (один біт на символ).

Таблиця 8.17 - Вимоги до швидкості передавання даних у системі GPRS

Таблиця 8.18 - Основні технічні параметри та характеристики радіотехнології EDGE

Параметри та характеристики	Значення параметра, тип характеристики
Швидкість передавання за умови високої мобільності в локальних зонах покриття, кбіт/с	128
Швидкість передавання за умови низької мобільності в широких зонах покриття, кбіт/с	384
Діапазони частот	діапазони систем GSM
Ширина смуги частот каналу, кГц	200
Метод модуляції	GMSK, 8PSK
Потужність передавача абонентської станції, Вт	1

В межах великих за розмірами зон радіопокриття передбачено використання модуляції 8PSK (три біти інформації на один символ). Згідно зі стандартом передбачено два режими радіотехнології EDGE: з комутацією пакетів (EGPRS, Enhanced GPRS) і з комутацією каналів (ECSD, Enhanced Circuit Switched Data). При цьому швидкості передавання даних в одному каналі збільшуються відповідно до 69,2 кбіт/с і 38,4 кбіт/с.

Режим пакетного передавання передбачає 9 швидкостей, які відрізняються схемою захисного кодування та видом модуляції несучих частот. Швидкість передавання інформації автоматично змінюється від пакета до пакета в залежності від електромагнітної обстановки. На фізичному рівні протокол EDGE повторює протокол GSM, включаючи структуру TDMA-кадрів та мультикадра. При цьому рівень загальної швидкості передавання інформації на несучій частоті, значення якого сягає до 384 кбіт/с, дозволяє розглядати радіотехнологію EDGE як технологію мереж покоління 3G. Вона може також розглядатися як база для розвитку не лише мереж GSM, але й D-AMPS.

Основні особливості організації радіозв'язку в мережах стандартів GSM-900 і DCS-1800 такі:

- 1) загальна зона радіопокриття в мережі зв'язку одного оператора системи GSM створюється шляхом об'єднання зон покриття окремих базових станцій, які рознесені територіально;
- 2) досить малі розміри зон радіопокриття окремих базових станцій (від кількох кілометрів для мікростільників до десятків метрів для пікостільників);
- 3) зона радіопокриття кожної базової станції створюється шляхом об'єднання зон окремих секторів роботи цієї станції із застосуванням секторних антен (ширина сектору в азимутальній площині може становити від 60° до 120°);
- 4) наявність у будь-якому місці території сигналів від передавачів кількох базових станцій;

5) застосування режиму повільної стрибкоподібної зміни робочої частоти (SFH) за псевдовипадковим законом у смузі радіочастот, виділеній для певної базової станції;

6) застосування принципу повторного використання набору робочих частот для кластера базових станцій, що може призвести до наявності в певному місці сигналів на одній частоті від кількох базових станцій;

7) нижня частина робочого діапазону частот системи GSM-900 стикується з верхньою частиною діапазону частот роботи систем стільникового зв'язку D-AMPS і спеціальних РЕЗ служби повітряної радіонавігації.

### 8.7.2.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ систем стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800

Оскільки потужність випромінювання передавачів мобільних терміналів досить мала (як правило, не більша 1 Вт), а їхні користувачі (абоненти) постійно знаходяться в русі, то проведення моніторингу спектра в смугах частот роботи абонентських терміналів і технічного радіоконтролю параметрів випромінювання їхніх передавачів недоцільне, а, в більшості випадків, і неможливе. Під час проведення технічного радіоконтролю у смугах радіочастот, виділених для систем цифрового стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800 традиційно контролюються параметри випромінювання передавачів лише базових станцій.

Враховуючи наведені раніше особливості організації мереж зв'язку та технічних параметрів випромінювання передавачів у мережах систем стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800, зокрема:

- секторний характер організації зон радіопокриття базової станції;
- надто обмежений радіус зони радіопокриття мікростільників (сотні метрів - одиниці кілометрів);
- застосування принципу повторного використання радіочастот, треба відмітити, що проведення *моніторингу* в смугах радіочастот, виділених для роботи базових станцій у мережах систем стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800 можливе лише із застосуванням *мобільних засобів радіомоніторингу* та, лише у виняткових випадках - *портативних засобів*.

Моніторинг у смугах радіочастот, виділених для зазначених систем зв'язку здійснюється з метою визначення ступеня зайнятості радіочастотних каналів, смуг частот, визначення стану електромагнітної обстановки та наявності радіопокриття в певних місцях, місцезнаходження джерел радіозавад і проводиться на підставі:

- планових і (або) позапланових завдань;
- заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- запитів органів планування використання РЧР стосовно перевірки умов ЕМС за результатами розрахунків ЕМС (у тому числі, й для проведення міжнародної координації).

Технічний радіоконтроль параметрів випромінювання передавачів базових станцій у мережах стандартів GSM-900 і DCS-1800 проводиться:

- за плановими завданнями;
- під час уведення базової станції в експлуатацію;
- на підставі заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;

- на підставі угод з користувачами РЧР щодо проведення технічного радіоконтролю;
- для оцінювання якості обслуговування (QOS).

Технічний радіоконтроль здійснюється стосовно передавача певної базової станції „за полем”.

Процедура радіомоніторингу в мережах стандарту GSM-900 із застосуванням, наприклад, вітчизняних мобільних комплексів радіомоніторингу типу РМ-1300М, РМ-1300М-1 полягає у виконанні таких операцій:

- виявлення радіовипромінювання;
- локалізація та визначення, за можливості, місцезнаходження ДРВ (певної базової станції);
- інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання;
- ідентифікація випромінювання стосовно його належності до певної базової станції;
- перевірка легітимності роботи певних передавачів базових станцій на зазначених частотах або в зазначеній смузі частот;
- перевірка відповідності параметрів радіовипромінювання базової станції вимогам норм, ліцензій та дозволів на експлуатацію РЕЗ.

Під час виконання планових завдань стосовно моніторингу спектра чи пошуку джерел радіозавад оператор мобільного комплексу радіомоніторингу здійснює заходи щодо виявлення радіовипромінювання в певній смузі частот, та, за можливістю, пеленгування і визначення місцезнаходження його джерела. Вирішення завдань стосовно пеленгування і визначення місцезнаходження базових станцій мереж стільникового зв'язку систем GSM-900 і DCS-1800 ускладнюється внаслідок застосування під час організації цих мереж розглянутого вище принципу повторного використання частот, що призводить до появи за результатами проведення радіопеленгування багатьох відмінних пеленгів.

Процедура перевірки умов ЕМС полягає в проведенні інструментального оцінювання рівнів напруженості електромагнітного поля на певних частотах (у певній смузі частот) у контрольних пунктах, визначених під час проведення розрахунків ЕМС, та порівнянні їх із розрахунковими.

Процедура визначення та перевірки реального стану електромагнітної обстановки проводиться, як правило, на підставі заяв щодо наявності радіозавад.

Враховуючи особливості організації мереж зв'язку та технічних параметрів радіовипромінювання передавачів базових станцій стандарту DCS- 1800, треба відмітити, що методи радіомоніторингу в діапазоні частот 1800 МГц практично не відрізняються від методів радіомоніторингу в діапазоні частот 900 МГц (у мережах систем GSM-900). Але, у зв'язку з певними труднощами пеленгування мобільними засобами радіомоніторингу ДРВ на частотах понад 1 ГГц, визначення місцезнаходження базових станцій, що працюють у мережах систем DCS-1800 здійснюється шляхом візуалізації наявності їхніх антен із наступним уточненням координат станції шляхом використання бази даних обліку РЕЗ.

**Виявлення** радіовипромінювання здійснюється в автоматизованому чи в неавтоматизованому режимі шляхом аналізу спектрограм сигналів у заданій смузі частот (на заданій частоті).

**Визначення місцезнаходження** базової станції класичними методами за результатами пеленгування із застосуванням мобільних комплексів радіомоніторингу неможливе.

Перед проведенням інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання оператор повинен упевнитися в тому, що:

- сигнал, який аналізується, випромінюється передавачем потрібної базової станції;
- енергетичні характеристики цього сигналу забезпечують отримання вимірів із заданими показниками достовірності (якості);
- радіозавади, випромінювання інших РЕЗ і випромінювання в сусідніх каналах не впливають на результати вимірювань.

У процесі проведення технічного радіоконтролю оцінюються такі параметри радіовипромінювання базових станцій:

- частота (номер каналу) та відхилення частоти від значення, вказаного в дозволі на експлуатацію;
- діапазон робочих частот у певному секторі роботи передавача базової станції;
- повний діапазон частот роботи певного передавача базової станції;
- ширина займаної смуги частот;
- напруженість електромагнітного поля;
- рівень сигналу, що приймається.

Під час інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання для зменшення впливу на його результати випромінювань інших РЕЗ, зокрема, базових станцій, мобільний комплекс радіомоніторингу повинен бути розташований поблизу базової станції, параметри випромінювання якої вимірюються.

**Несуча частота** визначається як середня частота вимірної ширини смуги частот.

**Діапазон робочих частот** у певному секторі передавача в разі застосування мобільних комплексів радіомоніторингу визначається за результатами аналізу наявності випромінювань шляхом тривалого спостереження в певній смузі частот огляду, або за допомогою спеціалізованого обладнання контролю мереж стільникового зв'язку, яким можуть бути оснащені спеціалізовані мобільні комплекси технічного радіоконтролю. При цьому ширина смуги частот огляду задається такою, щоб вона повністю охоплювала смугу робочих частот, визначену для певного передавача базової станції.

**Повний діапазон робочих частот** базової станції визначається шляхом обстеження зон усіх її секторів. За результатами вимірювання несучої частоти визначаються номери частотних каналів (вирішення цього завдання значно спрощується, якщо в процесі проведення технічного радіоконтролю застосовується спеціалізоване обладнання радіомоніторингу мереж стільникового зв'язку, яке, окрім визначення номерів частотних каналів і діапазонів робочих частот кожної базової станції дозволяє також визначати ідентифікаційний код базової станції (C1D, Cellular Identifier), ідентифікаційний код мережі, найменування оператора тощо.

У зв'язку з відсутністю в складі багатофункціональних мобільних комплексів радіомоніторингу штатних направлених вимірювальних антен і пов'язаної з цим неможливості локалізації випромінювання певного передавача для інструментального оцінювання ширини займаної смуги частот випромінювання передавачів базової станції в мережі GSM-900 потрібно використовувати метод вимірювання за критерієм  $X$  дБ на рівні мінус 26 дБ [14]. При цьому час спостереження доцільно задавати рівним 5 мс, що відповідає періоду перестроювання частоти за умови застосування на базовій станції режиму передавання з повільною стрибкоподібною зміною частоти (SFH).

**Напруженість електромагнітного поля та рівень сигналу**, що приймається, у системах GSM-900 і DCS-1800 оцінюються класичним способом. В разі використання портативного обладнання вимірювання рівня сигналу здійснюється із застосуванням середньоквадратичного детектора [1].

Однак, наведені раніше особливості радіоінтерфейсу та організації зв'язку в мережах стандарту GSM-900 можуть призвести до такої ситуації:

- в разі застосування режиму SFH частота випромінюваного сигналу, змінюється з періодичністю приблизно 4.6 мс, що призводить до постійної зміни положення спектра прийнятого сигналу на осі частот за псевдовипадковим законом і, як наслідок, - до відображення на спектрограмі набору спектрів у смузі частот огляду (сканування) в межах робочої смуги частот базової станції (рис. 8.27);

- у зв'язку з тим, що згідно з класом радіовипромінювання необхідна ширина спектра частот сигналу стандарту GSM (яка дорівнює 271 кГц) значно більша кроку рознесення радіоканалів у цьому стандарті (200 кГц), то в разі спостереження сигналів від кількох базових станцій, які працюють у сусідніх каналах, їхнє розділення практично неможливе.

Враховуючи деякі особливості технічних можливостей сучасних багатофункціональних мобільних комплексів радіомоніторингу загального призначення, зокрема, відсутність можливості просторової локалізації радіовипромінювання, потрібно відмітити, що вирішення завдання щодо вимірювання ширини займаної смуги частот випромінювання передавачів базових станцій стандарту GSM досить проблематичне, а іноді практично неможливе.

У зв'язку з цим інструментальне оцінювання цього параметра під час проведення технічного радіоконтролю вважається за недоцільне.

В разі застосування мобільних комплексів радіомоніторингу загального призначення визначення діапазону робочих частот базової станції потребує тривалого спостереження з метою виявлення всього набору частот у кожному з робочих секторів базової станції.

В разі застосування спеціалізованих мобільних комплексів радіомоніторингу мереж стільникового зв'язку може також проводитися визначення та інструментальне оцінювання таких характеристик і параметрів радіовипромінювання певних базових станцій:

- напруженість електромагнітного поля вздовж маршруту мобільного комплексу (для визначення зони радіопокриття);
- значення частоти та номери частотних каналів;
- діапазон робочих частот базової станції;

- ідентифікаційний код базової станції;
- ідентифікаційний код мережі.

За результатами оцінювання напруженості поля вздовж маршруту мобільного комплексу радіомоніторингу проводяться розрахунки й визначається зона радіопокриття базової станції.

Визначення показників *якості обслуговування* (QOS) [154, 155] у мережах стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800 проводиться шляхом застосування спеціалізованого обладнання, зокрема:

- обладнання типів TMSU, TMSQ, TMSL із комплексом ПЗ „ROMES” (виробництва компанії „Rohde&Schwarz”, Німеччина);
- комплекту обладнання Xpert (виробництва компанії „R&D”, Росія);
- вимірювального апаратно-програмного комплексу типу „Корунд” (виробництва компанії „R&D”, Росія).

За допомогою комплексу „Корунд”, наприклад, визначаються більше ніж 90 характеристик мереж GSM/GPRS, зокрема:

- 1) мобільний код країни (MCC, Mobile Country Code);
- 2) мобільний код мережі (MNC, Mobile Network Code);
- 3) код зони місцезнаходження (LAC, Location Area Code);
- 4) ідентифікатор стільника (CellID, Cellular Identity);
- 5) номер широкомовного каналу управління (BCCH, Broadcast Control Channel);
- 6) номер каналу трафіка (TCH, Traffic Channel);
- 7) рівень сигналу, що приймається в каналі BCCH (RxLevel, Received signal level in BCCH Channel);
- 8) ідентифікаційний код базової станції (BSIC, Base Transceiver Station ID).

В разі застосування для технічного радіоконтролю зазначених раніше портативних засобів загальні принципи його проведення такі:

- 1) для зменшення впливу відбитих радіовипромінювань, засоби радіоконтролю доцільно розташовувати на домінуючих елементах місцевості, наприклад, на дахах або верхніх поверхах будівель;
- 2) пошук та виявлення (встановлення факту наявності) радіовипромінювань проводиться з використанням ненаправлених антен;
- 3) за результатами виявлення за допомогою направлених антен визначається напрямок на ДРВ і проводиться інструментальне оцінювання параметрів його радіовипромінювання.

### **8.7.3 Система стільникового зв'язку D-AMPS 8.7.3.1 Загальні відомості про систему стільникового зв'язку D-AMPS**

Цифрова вдосконалена система мобільного зв'язку D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) відноситься до систем рухомого (мобільного) зв'язку другого покоління (2G) і є однією з перших розробок систем цифрового стільникового зв'язку (у США система D-AMPS має назву ADC). За походженням система D-AMPS є подальшим розвитком системи аналогового стільникового зв'язку першого покоління AMPS, працює в тих самих смугах частот, застосовує таку ж сітку частот і рознесення між частотними каналами (30 кГц).



Система базується на застосуванні методу багатостанційного доступу з часовим розділенням каналів (TDMA), цифрових методів формування, передавання та оброблення інформації й використанні ефективних щодо використання РЧР методів модуляції. За структурою організації мереж зв'язку система D-AMPS побудована за класичним принципом, а саме: загальна зона радіопокриття в мережі створюється шляхом об'єднання зон радіопокриття окремих базових станцій. У межах кластера всі базові станції використовують різні частоти для передавання інформації. В системі D-AMPS застосовується жорсткий режим передавання обслуговування рухомих абонентських станцій різними базовими станціями (жорсткий хендовер). Технічні параметри та характеристики системи стільникового зв'язку D-AMPS наведені в табл. 8.19 [147, 149].

Значення частот (в мегагерцах) передавачів абонентських  $f_{AC}$  (на лінії „вгору”) та базових  $f_{BC}$  (на лінії „вниз”) станцій для кожного частотного каналу (з номером  $N$ ) обчислюються за формулами

$$f_{AC} = 0,03 N + 825 \text{ для } N = 1, 2, \dots, 799; \quad (8.15)$$

$$f_{AC} = 0,03 (N - 1023) + 825 \text{ для } N = 990, 991, \dots, 1023; \quad (8.16)$$

$$f_{BC} = 0,03 N + 870 \text{ для } N = 1, 2, \dots, 799; \quad (8.17)$$

$$f_{BC} = 0,03 (N - 1023) + 870 \text{ для } N = 990, 991, \dots, 1023. \quad (8.18)$$

Реально в системі D-AMPS реалізовано 666 каналів.

В системі D-AMPS передбачено застосування таких стандартів зв'язку:

- 1) IS-54 - безпосередньо на саму систему;
- 2) IS-55 - на дворежимну (двомодову) рухому станцію, що забезпечує зв'язок як аналоговими (AMPS), так і цифровими (D-AMPS) каналами зв'язку;
- 3) IS-56 - на базову станцію системи D-AMPS;
- 4) IS-136 - удосконалений варіант стандарту IS-54.

Таблиця 8.19 - Технічні параметри та характеристики системи D-AMPS

Параметри та характеристики	Значення параметра, тип характеристики
Смуга частот, МГц: - на лінії „вгору” - на лінії „вниз”	від 824,01 до 848,97 від 869,01 до 893,97
Метод множинного доступу	TDMA-FDD
Рознесення каналів „вниз” і „вгору”, МГц	45
Ширина смуги частот, кГц	40
Радіус стільника, км	від 0,5 до 20
Кількість мовних каналів в одному частотному каналі	3
Еквівалентна смуга частот на один канал, кГц	10
Швидкість передавання інформації, кбіт/с	48,6 (загальна) 16,2 (на одного абонента)
Вид модуляції сигналу в каналі мовлення	$\pi/4$ DQPSK
Максимальна потужність передавача: - базової станції - абонентської станції	20 Вт від 0,5 мВт до 4 Вт
Необхідне відношення сигнал/завада, дБ	16

Строго кажучи, стандарт IS-54 (точніше, стандарт IS-54B, який ґрунтується на положеннях стандарту ANSI TIA/EIA 627) не є повністю цифровим стандартом, оскільки в цифровому вигляді реалізовані лише канали трафіка (канали передавання інформації мовлення). Канали управління використовують аналогові сигнали і реалізовані за аналоговим стандартом AMPS.

РЕЗ системи D-AMPS, які нині експлуатуються в Україні, базуються на застосуванні стандарту IS-136.1 із цифровими каналами управління (CCN. Control Channel). За своїми функціональними та технічними можливостями цей стандарт наближається до стандарту GSM.

В системі D-AMPS використовується принцип рознесеного приймання, тому базові станції мають дві антени та двоканальний приймач. Кожна базова станція має 10 приймально-передавальних каналів із вихідною потужністю 10 Вт у кожному каналі.

Класифікація абонентських станцій стандарту IS-136 за рівнем потужності наведена в табл. 8.20.

Для формування сигналів інформаційних повідомлень використовується відносна фазова модуляція  $\pi/4$ -DQPSK, яка реалізується із застосуванням квадратурної схеми з прямим перенесенням спектра сигналу на несучу частоту.

Таблиця 8.20- Класифікація абонентських станцій стандарту IS-136

Вихідна потужність	Рівні вихідної потужності за класами абонентських станцій				
	I	II	III	IV	V-VI
Максимальна	4 Вт	1,6 Вт	0,6 Вт	0,6 Вт	Резерв
Середня	1,333 Вт	0,533 Вт	0,2 Вт	0,2 Вт	
Мінімальна	6 мВт	6 мВт	6 мВт	0,5 мВт	

Передавання в системі D-AMPS здійснюється гіперкадрами тривалістю 1,28 с, які складаються із двох суперкадрів. Кожний суперкадр у свою чергу складається з 16 кадрів (фреймів) тривалістю 40,02 мс. Кадр складається з 6 часових слотів (двох блоків по три слоти) тривалістю 6,67 мс, що дозволяє одночасно в кожному частотному каналі (на одній несучій частоті) організувати 3 канали мовлення (за рахунок попарного об'єднання часових слотів). Таким чином, сигнали передаються в стандартах IS-54 і IS-136 у виді практично безперервного випромінювання.

Структура кадру в системі D-AMPS наведена на рис. 8.28.

Для збільшення рівня завадостійкості системи застосовується згорткове кодування та мережевування інформації.

В системі D-AMPS використовуються сигнали з класом радіовипромінювання **40K0G7WDT** (ширина необхідної смуги частот становить 40 кГц, контрольної- 56 кГц [148]). Спектр сигналу D-AMPS наведений на рис. 8.29.

В цілому, потенційні показники стандарту IS-136 дещо поступаються показникам стандарту GSM. Наприклад, для забезпечення однакових значень похибки приймання за стандартом D-AMPS вимагається відношення сигнал/завада на (6 - 10) дБ більше, ніж за стандартом GSM, а для забезпечення „прийнятної якості мовлення" енергетичні втрати, що вимагаються за стандартом D-AMPS, на (6 - 7) дБ більші, ніж за стандартом GSM. Крім того, для розташування стільників з однаковими значеннями радіочастот, при плануванні мереж D-AMPS потрібні більші, порівняно з мережами GSM, координаційні відстані, що зменшує ефективність повторного використання частот.

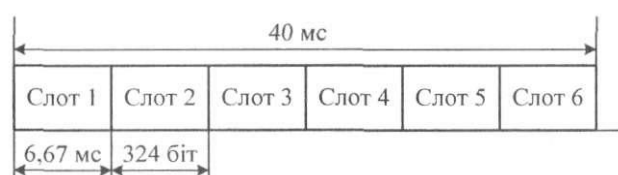


Рис. 8.28. Структура кадру в системі D-AMPS

В Україні для систем мобільного стільникового зв'язку системи D-AMPS виділені смуги частот [19]:

- від 830,67 МГц до 834,97 МГц на лінії „вгору”;
- від 875,67 МГц до 879,97 МГц на лінії „вниз”.

До основних особливостей організації мереж зв'язку, технічних параметрів і характеристик радіовипромінювання в системі D-AMPS можна віднести:

- малі розміри зон радіопокриття базових станцій (від 0,5 км до 20 км), зумовлені невеликою потужністю передавачів (як правило, до 10 Вт);
- малі потужності передавачів абонентських станцій (як правило, не більше 1 Вт);
- формування зон радіопокриття шляхом застосування секторних антен із шириною сектора 120°;
- наявність у певному пункті випромінювань на одній частоті від кількох базових станцій внаслідок застосування принципу повторного використання радіочастот (frequency reuse);
- спектр випромінювання в певній смузі частот представляє собою набір спектрів окремих каналів;
- в частині діапазону робочих частот, виділеного для системи D-AMPS, також працюють системи стільникового зв'язку CDMA-800 і спеціальні РЕЗ служби повітряної радіонавігації (смуга від 875 МГц до 880 МГц);
- діапазон робочих частот системи D-AMPS стикується з робочим діапазоном частот систем стільникового зв'язку GSM;
- доволі вузький спектр радіовипромінювання;
- поступове зменшення уваги користувачів РЧР й абонентів стільникового зв'язку до цього стандарту.

### 8.7.3.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ системи D-AMPS

Враховуючи особливості організації мереж зв'язку та технічних характеристик радіовипромінювання системи стільникового зв'язку D-AMPS, а саме:

- надто обмежений радіус зони радіопокриття мікростільників (сотні метрів - одиниці кілометрів);
- секторний характер організації зон радіопокриття базових станцій;
- застосування принципу повторного використання радіочастот.

потрібно відмітити, що проведення моніторингу спектра у смугах радіочастот, виділених для системи стільникового зв'язку D-AMPS та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів мобільних терміналів неможливе й не доцільне, а проведення моніторингу спектра у смугах радіочастот, виділених для базових станцій системи D-AMPS можливе лише із застосуванням *мобільних засобів* радіомоніторингу.

Моніторинг у відповідних смугах частот роботи базових станцій системи стільникового зв'язку D-AMPS може бути організований:

- на підставі виконання планових і (або) позапланових завдань;
- за запитом щодо наявності радіозавади певних смуг радіочастот;
- з метою оцінювання зайнятості смуг частот у зазначеному діапазоні для їхнього перерозподілу (виділення смуг радіочастот) для більш ефективних радіотехнологій.

За своїм змістом, процедури моніторингу спектра та технічного радіо-контролю параметрів радіовипромінювання передавачів базових станцій системи стільникового зв'язку D-AMPS практично не відрізняються від відповідних процедур стосовно систем стільникового зв'язку стандарту GSM-900.

#### 8.7.4 Система рухомого мобільного зв'язку UMTS

##### 8.7.4.1 Загальні відомості про систему рухомого мобільного зв'язку UMTS

Універсальна система мобільного зв'язку UMTS є європейською концепцією сімейства мобільних систем IMT-2000 і відноситься до мереж рухомого зв'язку 3-го покоління (3G).

Архітектура мережі UMTS базується на застосуванні принципово нових підходів до побудови мереж зв'язку. Концепція побудови архітектури мережі UMTS як багаторівневої ієрархічної системи передбачає об'єднання різних фізичних рівнів системи на базі структурних підсистем і забезпечення еволюції до мережі UMTS існуючої мережевої інфраструктури (зокрема, інфраструктури GSM, PDN, цифрових мереж з інтеграцією служб N-ISDN та B-ISDN). Згідно з концепцією IMT-2000, системна архітектура мереж покоління 3G поділяється на дві частини: мережа радіодоступу та базова мережа. Архітектура та послуги системи UMTS згідно з Release 6 наведені на рис. 8.30 [154, 173, 185].

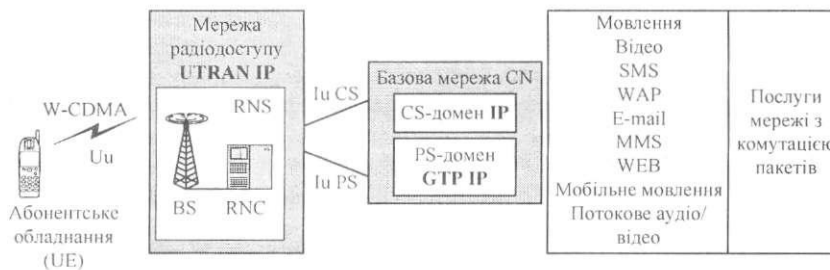


Рис. 8.30. Архітектура та послуги системи UMTS згідно з Release 6

Запропонована архітектура передбачає чітке визначення так званих „опорних точок” входу та виходу підсистем, тобто стандартизацію вхідних і вихідних інтерфейсів (інформаційних, технічних і мережевих параметрів) обміну між окремими структурними підсистемами. При цьому певні структурні підсистеми можуть бути реалізовані за різними варіантами, основною вимогою до яких є забезпечення стандартизованого доступу до підсистем вищого та нижчого рівнів. У мережі UMTS зафіксовано 5 „опорних точок”. На рис. 8.30 відмічені дві такі „опорні точки”, які можуть викликати інтерес з точки зору радіомоніторингу:

- Uu - відкритий радіоінтерфейс (опорна точка) між абонентським обладнанням і мережею радіодоступу (так званим „доменом інфраструктури”);
- Iu - відкритий радіоінтерфейс (опорна точка) між підсистемою (доменом) радіодоступу та базовою мережею CN (Core Network) - підсистемою (доменом) обслуговування.

Згідно з Release 6 для позначення мережі радіодоступу системи UMTS використовується назва UTRAN (UMTS Terrestrial Access Network). UTRAN забезпечує керування радіоресурсами мережі. Release 4 і Release 5 допускають інтегрування до системи UMTS, як альтернативного варіанту, системи радіодоступу GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), яка базується на застосуванні методу доступу вдосконаленого передавання даних EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution).

Абонентське обладнання (UE, User Equipment) представляє собою мобільні абонентські термінали, які через радіоінтерфейс Uu взаємодіють із базовими станціями мережі UTRAN (основною відмінністю абонентського обладнання мережі UMTS від аналогічного для мереж покоління 2G є його розширені функціональні можливості). Через радіоінтерфейс Uu, який позначається як UTRA (UMTS Terrestrial Access), проводиться обмін даними та службовою інформацією між абонентськими й базовими станціями UMTS.

Радіоінтерфейс UTRA ґрунтується на застосуванні двох різних технологій радіодоступу:

- технології широкосмугового радіодоступу W-CDMA (Wideband CDMA), яка також називається UTRA FDD (UTRA Frequency Division Duplex);

- технології часового дуплексу з кодовим розділенням каналів TD-CDMA (UTRA TDD, UTRA Time Division Duplex).

Кожна з них призначена для застосування на своєму рівні ієрархії базових станцій. Деякі характеристики та параметри радіоінтерфейсу UTRA наведені в табл. 8.21.

Одна з найважливіших особливостей організації радіодоступу в мережі UMTS - це застосування різних технологій радіодоступу на різних рівнях ієрархії базових станцій.

Технологія UTRA FDD забезпечує створення однакової кількості симетричних каналів зв'язку як на лінії „вгору”, так і на лінії „вниз” і, таким чином, - незалежне передавання інформації в обох напрямках без урахування часової затримки передавання. Це дозволяє організовувати широкосмугові канали зв'язку на досить великі відстані - між супутниковим (космічними станціями) та

наземним (наземною базовою станцією) фрагментами мережі UMTS або між віддаленими базовими станціями шляхом застосування ретрансляторів. Застосування технології UTRA FDD забезпечує передавання великих обсягів інформації з досить великими швидкостями в межах мега- стільників і макростільників. Крім того, технологія UTRA FDD забезпечує зв'язок із високошвидкісними абонентами.

Таблиця 8.21- Характеристики та параметри радіоінтерфейсу UTRA

Характеристики та параметри	Значення параметра, тип характеристики	
	UTRA FDD (W-CDMA)	UTRA TDD (TD-CDMA)
Діапазон частот, МГц	від 2110 до 2170 (лінія „вниз”) від 1920 до 1980 (лінія „вгору”)	від 1900 до 1920 від 2010 до 2025
Метод доступу	DS-CDMA	TD-CDMA
Смуга частот, МГц	2×5; 2×7,5; 2×15	5
Канальна швидкість, бод (Мсимв./с)	3,84	3,84
Коефіцієнт розширення спектра SH	від 1 до 512	від 1 до 16
Вид модуляції	QPSK, BPSK	QPSK
Точність управління потужністю, дБ	від 0,25 до 1,5	від 1 до 3
Максимальна випромінювана потужність, дБмВт	24	27,2
Максимальна дальність дії мобільної та базової станцій, км	5,787 (лінія „вниз”) 4,475 (лінія „вгору”)	6,041 (лінія „вниз”) 5,279 (лінія „вгору”)

На відміну від технології FDD двосторонній радіозв'язок у режимі часового дуплексу (UTRA TDD) забезпечується за рахунок часового ущільнення каналів передавання та приймання на одній несучій частоті, що, безумовно, дозволяє оптимізувати перерозподіл частотного ресурсу лінії зв'язку за рахунок виділення різної кількості часових інтервалів на лініях „вгору” та „вниз”, але, з іншого боку, значно обмежує дальність зв'язку та швидкість передавання даних. В UTRA TDD забезпечується варіація коефіцієнта асиметрії трафіка (співвідношення трафіка в напрямках „вниз”/ „вгору”) від 15/1 до 2/14. Технологія UTRA TDD використовується для створення асиметричних каналів зв'язку та надання доступу до базових станцій низькошвидкісним абонентам. У зв'язку з тим, що на лініях „вгору” і „вниз” використовуються однакові частоти, характеристики завмирань у каналах значно корельовані. Тому для компенсації завмирань та результатів впливу інших негативних ефектів поширення радіохвиль використовуються однакові методи управління потужністю й адаптивними антенами.

Використання однакових частот для передавання та приймання має ряд переваг:

- простота реалізації адаптивних („інтелектуальних”) антен;
- можливість використання кореляційного приймача;
- спрощення процедури рознесення частоту режимі передавання.

Згідно з концепцією IMT-2000 технологія UTRA TDD рекомендується для використання в мікростільниках та пікостільниках. Основна перевага режиму TDD - забезпечення двостороннього передавання в одній смузі частот, що не потребує парних смуг частот і, таким чином, спрощує процедуру пошуку стільників.

Система UTRAN поділяється на підсистеми радіомережі RNS (Radio Network Subsystem), кожна з яких, у свою чергу, складається з наборів окремих пристроїв (базових станцій BS, Base Station) і елементів управління - контролерів радіомережі RNC (Radio Network Controller).

Базові станції, які в мережі UMTS називаються *Node B*, створюють радіоканали з використанням інтерфейсу Uu. До функцій базових станцій входить:

- оброблення сигналів на фізичному рівні;
- виконання обмеженого обсягу завдань управління радіоресурсом;
- конвертування транспортних потоків абонентським обладнанням і контролером базової станції.

Базова станція з типовою конфігурацією обслуговує до 6 секторів із застосуванням до трьох несучих частот в одному секторі.

Контролер мережі радіодоступу RNC забезпечує управління радіоресурсом мережі радіодоступу UTRAN, зокрема, керує завантаженням стільників, допуском до мережі, регулюванням пріоритетності та черговості з'єднань тощо.

Базова мережа CN забезпечує динамічний розподіл ресурсів мережі, реєстрацію місцезнаходження абонентів, управління хендвером, з'єднання абонентів, а також взаємодію між центрами комутації. Вона складається з двох різних підсистем: домену з комутацією каналів (CS, Circuit Switching) та домену з комутацією пакетів (PS, Packet Switching). Згідно з Release 6 та Release 7 передавання даних у системі UMTS реалізується на базі застосування IP-протоколу, включаючи протокол тунелювання в підсистемі GPRS - GTP (GPRS Tunneling Protocol).

Стеження за переміщенням абонентів у межах мережі (а також за їхнім виходом за межі мережі) забезпечується шляхом постійного контролю знаходження абонентів у зоні радіодоступності однієї з базових станцій та реєстрації у візитному реєстрі місцезнаходження абонента VLR (Visitor Location Register). Як правило, реєстр VLR обслуговує декілька базових станцій. При цьому для ідентифікації абонента та визначення наявності прав доступу до мережі використовується інформація стосовно певного абонента, що зберігається в домашньому реєстрі місцезнаходження абонента HLR (Home Location Register), який також містить довідкову інформацію стосовно всіх абонентів, які постійно зареєстровані в мережі.

У реєстрі VLR міститься така інформація стосовно кожного абонента:

- міжнародний ідентифікатор абонента мобільного зв'язку IMSI (International Mobile Subscriber Identity);
- мобільний міжнародний номер абонента в мережі ISDN - MSISDN (Mobile Station International ISDN Number);
- роумінговий номер мобільного терміналу MSRN (Mobile Station Roaming Number);
- тимчасовий ідентифікатор абонента мобільного зв'язку TMSI (Temporary Mobile Station Identity);
- локальна ознака абонентського терміналу LMSI (Local Mobile Station Identity);



- інформація стосовно кінцевого та початкового місцезнаходження абонента й інша інформація.

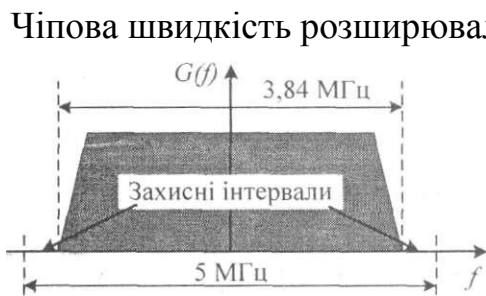
Однією з переваг реалізації системи UMTS є застосування когерентного РПП W-CDMA, який за рахунок виконання оптимального оброблення сигналу забезпечує вигреш щодо відношення сигнал/шум на рівні 25 дБ. Завдяки застосуванню широкосмугового сигналу та когерентного приймача W-CDMA мінімально необхідне відношення сигнал/завада в каналі зв'язку оброблення мовного трафіка системи UMTS на (29 - 32) дБ менше, ніж для системи GSM.

Крім того, завдяки використанню сигналів із високим рівнем автокореляційних властивостей забезпечується висока розрізнявальна здатність за часом приходу сигналів, значення якої становить  $2 \tau_{\text{чип}} = 2 / 3,84 \cdot 10^6 = 2 \times 0,26 \text{ мкс} = 0,52 \text{ мкс}$ .

Передавання інформації за технологією широкосмугового радіодоступу W-CDMA здійснюється кадрами тривалістю 10 мс. Кадр поділений на 15 каналних інтервалів тривалістю 0,625 мс кожний. 72 кадри об'єднуються в суперкадр тривалістю 720 мс. Основною відмінністю структури кадрів на лініях „вгору” та „вниз” є те, що в першому випадку в каналі застосовується передавання з кодовим ущільненням, у другому - передавання з мульти-плексуванням за часом.

Основою технології широкосмугового радіодоступу W-CDMA є метод розширення спектра із застосуванням прямої послідовності (DSSS). Ефективна ширина смуги частот радіоінтерфейсу W-CDMA дорівнює 3,84 МГц, а разом із захисними смугами - 5 МГц (рис. 8.31).

Ширина смуги частот сигналу в системі UMTS визначається тривалістю елементарного імпульсу розширювальної послідовності (розширювального коду), яка формується шляхом перемноження скремблюючого та каналостворюючого кодів.



Чіпова швидкість розширювальної послідовності в різних варіантах виконання радіоінтерфейсу W-CDMA, які використовуються в мережах проекту 3GPP, постійна й становить 3,84 Мчп/с. За такої швидкості тривалість одного чіпа становить 0,26041 мкс. У залежності від виду модуляції, що використовується, один символ представляється різною кількістю бітів. Для UTRA FDD один символ, який передається на лінії „вгору”, представляється одним бітом, а на лінії „вниз” - двома.

Для забезпечення правильного функціонування інтерфейсу Uu застосовуються два різні види кодів, до яких висуваються різні вимоги: одні коди повинні забезпечувати високий рівень кореляції між собою, інші - повинні бути ортогональними й не корельованими взагалі (або з якомога меншим рівнем кореляції).

В технології широкосмугового радіодоступу W-CDMA застосовуються три основні види кодів: скремблюючий, каналостворюючий та розширювальний. Призначення цих видів кодів наведено в табл. 8.22.

Скремблюючі коди призначені для забезпечення ідентифікації стільників. На етапі планування мережі кожному стільнику (і кожному сектору) призначається свій унікальний код (так званий первинний скремблюючий код) - ідентифікатор стільника CI (Cell ID), завдяки якому абонентські термінали розпізнають стільники та сектори базових станцій у мережі радіотехнології UMTS.

Таблиця 8.22 - Типи кодів W-CDMA

Тип коду	Призначення	
	На лінії „вгору”	На лінії „вниз”
Скремблюючий	Розділення абонентів	Розділення стільників і секторів
Каналостворюючий	Канали даних та управління з одного кінцевого пункту	Розділення користувачів у межах одного стільника
Розширювальний	Каналостворюючий код × скремблюючий код	

У процесі встановлення з'єднання між базовою мережею та абонентським терміналом базова станція повідомляє абонентський термінал про код доступу до

неї (у вигляді зазначеного первинного скремблюючого коду). Після встановлення з'єднання для розділення каналів доступу до базової станції різних абонентських терміналів використовуються каналостворюючі коди. Набори цих кодів однакові для всіх скремблюючих кодів. У поєднанні зі скремблюючими кодами каналостворюючі коди створюють розширювальний код (шляхом перемноження скремблюючого та каналостворюючого кодів). Саме розширювальний код забезпечує розширення спектра сигналу. Загальна кількість скремблюючих кодів на лінії „вниз” обмежена й дорівнює  $2^{15} - 1 = 262\,143$ . Коди пронумеровані від 0 до 262 142. Але в реальних умовах вони використовуються не всі. Весь набір скремблюючих кодів поділений на 512 блоків із кількістю кодів у кожному з блоків рівною 512. Для кожного із блоків зазначено по 1 первинному скремблюючому коду, якому ставиться у відповідність 15 вторинних кодів. Таким чином, загальна кількість скремблюючих кодів, які використовуються для ідентифікації стільників, дорівнює 8192, у тому числі, 512 первинних скремблюючих кодів із нумерацією від 0 до 511 і  $512 \times 15 = 7680$  вторинних кодів. Для лінії „вгору” виділено 224 скремблюючі коди.

Одне з основних завдань планування мережі базових станцій UMTS - це забезпечення такої її структури, за якої до зони радіодоступності будь-якого абонентського терміналу не повинно попадати дві (та більше) базові станції (сектори) з однаковими кодами ідентифікатора стільника CI.

Розділення каналів, які використовуються різними абонентами, на лінії „вгору” базується на ортогональності застосованих каналостворюючих кодів. Ортогональність у цьому випадку означає, що каналостворюючі коди вибираються з набору з 256 кодів за критерієм їхнього мінімального взаємного впливу один на одного (тобто за умови відсутності кореляції між різними кодами).

Таким чином, скремблюючі коди на лінії „вниз” використовуються для розділення стільників і секторів, на лінії „вгору” - для розділення абонентів.

Коефіцієнт розширення спектра може бути визначений як вираш  $G_P$ , що залежить від ширини смуги частот

$$G_P = B_{Uu} / B_B,$$

(8.19)

де  $B_{Uu}$  - ширина смуги частот для радіоінтерфейсу  $Uu$  (ширина смуги частот розширювальної послідовності);

$B_B$  - ширина смуги частот, що узгоджена із вхідною послідовністю. Значення коефіцієнта розширення спектра залежить від швидкості передавання.

Співвідношення між коефіцієнтом розширення та швидкістю передавання чіпів, наведені в табл. 8.23.

Коефіцієнт розширення також може бути визначений кількістю чіпів  $k$ , що приходить на один біт інформації, і оцінюється коефіцієнтом  $K$ :

$$K = 2^k, \quad (8.20)$$

де  $k = 0, 1, 2, \dots, 8$ .

Основні технічні характеристики та параметри радіотехнології W-CDMA-FDD наведені в табл. 8.24.

Таблиця 8.23 - Залежність коефіцієнта розширення спектра від швидкості передавання

Коефіцієнт розширення спектра	Швидкість передавання символів, ксимв./с	Швидкість передавання чіпів, кчіп/с	
		На лінії „вгору”	На лінії „вниз”
512	7,5		15
256	15	15	30
128	30	30	60
64	60	60	120
32	120	120	240
16	240	240	480
8	480	480	960
4	960	960	1920

Таблиця 8.24 - Основні технічні характеристики та параметри радіотехнології W-CDMA-FDD

Характеристики та параметри	Значення параметра, тип характеристики
Багатостанційний доступ	DS-CDMA
Схема дуплексу	FDD
Чіпова швидкість, Мчіп/с	3,84
Тривалість циклу, мс	10
Вид модуляції даних	QPSK, 16-QAM із підтримкою HARQ для HSDPA – на лінії „вниз” QPSK, OQPSK – на лінії „вгору”

Для ідентифікації абонента мобільного зв'язку використовується унікальний

Розширювальна модуляція	BPSK – на лінії „вгору” QPSK – на лінії „вниз”
Рознесення	Використання RAKE приймача на базових і мобільних станціях
Принцип різних швидкостей	Використання змінного коефіцієнта розширення та мультикодів

код, який відповідає вимогам Рекомендації ITU-R E.214 і називається **міжнародним ідентифікатором мобільного абонента I MS I** (International Mobile Subscriber Identity). Цей код складається з трьох частин:

$$1MSI = MCC + MNC + MSN ,$$

де MCC, Mobile Country Code - мобільний код країни (три цифри);

MNC, Mobile Network Code - мобільний код мережі (2-3 цифри);

MSN, Mobile Subscriber Number - мобільний номер абонента (9-10 цифр).

Для низькочастотної модуляції сигналів у системі UMTS застосовуються три види модуляції:

- квадратурна фазова маніпуляція QPSK - на лінії „вниз”;
- ФМн4 зі зсувом (OQPSK) - на лінії „вгору”;
- квадратурна амплітудна модуляція 16-QAM - для високошвидкісних застосувань на лінії „вниз”.

Одна з переваг радіотехнології W-CDMA - це використання ефекту багатопробеневого поширення радіохвиль шляхом застосування так званого RAKE приймача, принцип дії якого викладений у підрозділі 8.7.5.1. Для системи UMTS застосовується чотириканальний RAKE приймач у базовій станції та триканальний в абонентській.

Ще однією із особливостей системи UMTS є реалізація процедури регулювання потужності. На відміну від систем, які базуються на застосуванні методів множинного доступу з частотним (FDMA) та часовим (TDMA) розділенням каналів, в яких регулювання потужності використовується для зменшення радіозавад між стільниками, рівень яких зростає в разі повторного використання радіочастот, в системах, які базуються на використанні методу W-CDMA, регулювання потужності має своєю метою зниження рівня радіозавад безпосередньо в межах стільника. Вирішення цих завдань вимагає необхідності оптимізації рівня випромінюваної потужності для забезпечення заданих показників якості послуг QoS. У зв'язку з тим, що всі абоненти одночасно використовують одну й ту ж саму смугу радіочастот, збільшення рівня сигналу від одного абонентського терміналу еквівалентне впливу шумоподібної радіозавади для інших користувачів. Відсутність механізму регулювання рівня випромінюваної потужності використання однієї й тієї ж смуги частот декількома користувачами призводить до виникнення так званої проблеми „близький-далекий”. У цьому випадку потужний сигнал близько розташованого абонентського терміналу „маскує” сигнали інших (дальше розташованих) абонентів.

Прийнятий у системі UMTS механізм регулювання базується на застосуванні принципу *розподіленого регулювання*, який забезпечує розподіл механізму регулювання серед елементів мережі радіодоступу й адаптивну реакцію на зміну показників якості послуг QoS. У системі UMTS регулювання потужності здійснюється в обох напрямках: на лінії „вниз” і на лінії „вгору”. Регулювання потужності на лінії „вниз” спрямоване на мінімізацію радіозавад із сусідніми стільниками та досягнення прийнятних значень захищеності.

У зв'язку зі значною критичністю системи UMTS щодо рівня прийнятого сигналу регулювання потужності в інформаційному каналі здійснюється з частотою 1,5 кГц (для порівняння - в системах GSM регулювання потужності виконується зі швидкістю (1-2) рази за секунду).

Для управління регулюванням потужності в системі UMTS використовуються два механізми:

- з розімкнутим ланцюгом регулювання потужності - OLCP (Open Loop Power Control);
- із замкнутим ланцюгом регулювання потужності - CLCP (Closed Loop Power Control).

Механізм OLCP використовується, в основному, для регулювання рівня потужності на лінії „вгору”. При цьому регулювання рівня потужності абонентського терміналу здійснюється на підставі результатів оцінювання рівня сигналу, що приймається від базової станції протягом інтервалів часу до початку передавання за фізичним каналом PRACH: рівень сигналу, що випромінюється абонентським терміналом, обернено пропорційний рівню прийнятого контрольного сигналу.

Механізм CLCP застосовується для регулювання рівня випромінюваної потужності після того, як з'єднання за радіоканалом встановлено та призначено для компенсації швидких завмирань радіосигналів. Механізми регулювання на лініях „вгору” й „вниз” однакові. Наприклад, для регулювання рівня

випромінюваної потужності абонентського терміналу (тобто на лінії „вгору“) базова станція порівнює рівень прийнятого сигналу з пороговим значенням і надсилає до абонентського терміналу команду щодо зміни рівня потужності передавача. Цикл регулювання повторюється з частотою 1,5 кГц з кроком регулювання 1 дБ, 2 дБ або 3 дБ. Крім наведених у системі UMTS застосовуються також інші механізми регулювання рівнів вихідної потужності, але вони у даному виданні не розглядаються.

На підставі рішення ERC (European Radiocommunications Committee) у Європі для UMTS були виділені такі смуги частот:

- від 1920 МГц до 1980 МГц і від 2110 МГц до 2170 МГц - для наземних мереж UMTS, що працюють із частотним дуплексним рознесенням (FDD);

- від 1900 МГц до 1920 МГц і від 2010 МГц до 2025 МГц - для наземних мереж UMTS, які працюють із часовим дуплексним рознесенням (TDD);

- від 1980 МГц до 2010 МГц і від 2170 МГц до 2200 МГц - для супутникових мереж UMTS.

Крім зазначених смуг частот для мереж UMTS на WRC-2000, як можливі для використання в майбутньому, були запропоновані такі смуги частот:

- від 470 МГц до 806 МГц - можливо, що під час переходу на цифрове телевізійне мовлення окремі смуги частот у цьому діапазоні можуть бути виділені для мереж UMTS;

- від 806 МГц до 960 МГц - відповідно до рекомендацій UMTS-Форуму пропонується виділення смуги частот 1x40 МГц у діапазоні від 806 МГц до 862 МГц за умови виділення парної смуги частот 40 МГц у діапазоні від 470 МГц до 806 МГц);

- від 1710 МГц до 1885 МГц - вважається найперспективнішим діапазоном частот, але у зв'язку з тим, що окремі смуги частот у цьому діапазоні виділені для радіорелейних систем, нині не розглядається;

- від 2290 МГц до 2400 МГц - нижня ділянка спектра шириною 10 МГц (від 2290 МГц до 2300 МГц) може бути виділена для не ліцензованих видів послуг у режимі TDD; за умови переміщення служб телеметрії в інші діапазони частот розглядається питання виділення смуги частот 110 МГц для режиму TDD і виділення двох смуг частот 2x40 МГц або 2x110 МГц (за умови парного виділення смуги частот у діапазоні від 2520 МГц до 2670 МГц);

- від 2500 МГц до 2690 МГц - найперспективніша смуга частот для розвитку мереж UMTS на другому етапі (після 2008 року); передбачається можливість виділення смуги частот шириною 150 МГц для режиму TDD або організація парних смуг 2x70 МГц для дуплексного рознесення, а також планується виділення смуги частот 1x110 МГц за умови парного виділення в діапазоні від 2290 МГц до 2400 МГц і від 2700 МГц до 2900 МГц або 1 x 120 МГц у діапазоні від 2535 МГц до 2655 МГц);

- від 2700 МГц до 2900 МГц (згідно з рішенням СЕРТ розглядається можливість виділення смуги частот 2x50 МГц або 1x110 МГц (парна смуга) для режиму FDD або 100 МГц - для режиму TDD).

В Україні для систем цифрового стільникового зв'язку 1MT-2000 CDMA (UMTS/W-CDMA) виділені такі смуги частот:

- від 1935 МГц до 1950 МГц як парна до смуги частот від 2125 МГц до 2140 МГц;

- від 2015 МГц до 2020 МГц для 1MT-2000 CDMA (UMTS/TDD).

Парні смуги частот від 1920 МГц до 1935 МГц та від 1950 МГц до 1980 МГц призначені для розширення застосування радіотехнології 1MT-2000 CDMA (UMTS/W-CDMA), смуги радіочастот від 1900 МГц до 1920 МГц, від 2010 МГц до 2015 МГц і від 2020 МГц до 2030 МГц - для розширення застосування радіотехнології 1MT-2000 CDMA (UMTS/TDD), смуги радіочастот від 2110 МГц до 2125 МГц і від 2140 МГц до 2170 МГц - для розширення застосування обладнання радіотехнології 1MT-2000 CDMA (UMTS/W-CDMA), яке працює з вихідною потужністю до 10 мВт.

До основних особливостей функціонування систем UMTS відносяться такі:

- загальна зона радіопокриття мережі UMTS створюється шляхом об'єднання окремих зон радіопокриття базових станцій;

- невеликі розміри зон радіопокриття базових станцій (сотні метрів);

- робота базової станції, як правило, на одній несучій частоті;

- наявність у пункті приймання кількох (щонайменше двох) сигналів від одного передавача, що зумовлено багатопроменевим поширенням і дифузійним відбиванням радіохвиль;

- наявність у пункті приймання сигналів кількох радіостанцій

- робота в широкому діапазоні частот від 1900 МГц до 2170 МГц;

- низькі рівні вихідної потужності передавачів (не більше 10 Вт);

- широкий спектр сигналу, який випромінюється - 3,84 МГц;

- надто низькі спектральна щільність потужності та рівні сигналів, що приймаються;

- регулювання потужності передавача, що призводить до ефекту „дихання” стільника:

- ідентифікація базових станцій можлива лише із застосуванням спеціалізованого обладнання.

#### **8.7.4.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ у смугах частот систем UMTS**

Потрібно відмітити, що у відомій науково-технічній літературі відсутня будь-яка інформація стосовно процедур моніторингу спектра та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання РЕЗ систем UMTS. Тому наведені нижче пропозиції ґрунтуються лише на результатах аналізу особливостей організації мереж систем UMTS і технічних параметрів РЕЗ цих систем.

Основна мета проведення моніторингу спектра в діапазоні частот 2 ГГц - оцінювання зайнятості смуг частот роботи наземного фрагменту системи UMTS (базових станцій). Моніторинг у смугах радіочастот роботи систем UMTS може бути організований лише із застосуванням мобільних засобів.

Технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювання базових станцій UMTS базується на застосуванні спеціалізованих аналізаторів мереж TSML-W, TSMU з опцією TSMU-K11 та TSMQ з програмним комплексом ROMES. Детальніше питання технічного радіоконтролю в частині оцінювання якості

послуг, якості обслуговування та зон обслуговування із використанням зазначеного обладнання, а також вимірювання напруженості електромагнітного поля (із застосуванням аналізатора мереж TSMC-CW) розглянуті в наступному розділі.

## РАДОТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ. МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ

### 8.7.5 Системи цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450

#### 8.7.5.1 Загальні відомості про системи цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450

Системи цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450 нині є найпоширенішими та найвідомішими представниками американських систем рухомого зв'язку, які базуються на застосуванні радіотехнології CDMA. Ці системи призначені для забезпечення надання послуг рухомого телефонного зв'язку та передавання даних.

Організація мереж зв'язку зазначених систем базується на застосуванні класичного принципу побудови мереж рухомого стільникового зв'язку шляхом розділення загальної зони обслуговування на елементарні зони, радіопокриття яких забезпечується за рахунок розгортання мережі базових станцій. Структура системи радіодоступу в мережах зв'язку систем CDMA-800 і

CDMA-450 зображена на рис. 8.32.

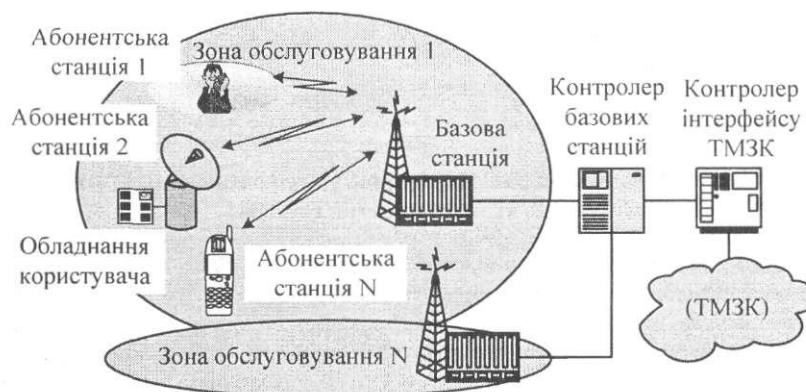


Рис. 8.32. Структура системи радіодоступу в мережах зв'язку систем CDMA-800 і CDMA-450

До складу системи радіодоступу входять:

- базові станції;
- абонентські станції;
- контролер базових станцій;
- контролер інтерфейсу системи загального користування.

Система комутується з телефонною мережею загального користування (ТМЗК) через відповідний контролер.

Основні технічні характеристики та параметри радіовипромінювання в системі CDMA-450 відповідають характеристикам і параметрам випромінювання в системі CDMA-800, тому спочатку розглянемо систему CDMA-800, а потім наведемо особливості організації зв'язку та технічних характеристик системи CDMA-450.



Для систем стільникового зв'язку CDMA-800 передбачені смуги частот від 824,04 МГц до 848,86 МГц на лінії „вгору” (від абонентської до базової станції) і від 869,04 МГц до 893,97 МГц на лінії „вниз” (від базової до абонентської станції) з дуплексним рознесенням 45 МГц.

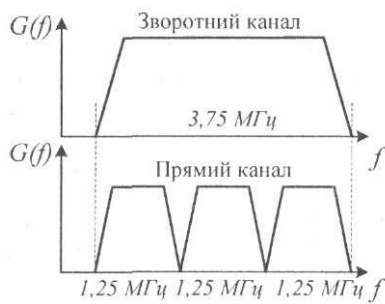
Функціонування системи CDMA-800 ґрунтується на застосуванні методу множинного доступу з кодовим розділенням каналів і частотним дуплексним рознесенням каналів приймання та передавання (CDMA/TDD). Система рухомого стільникового зв'язку CDMA-800 побудована за стандартом cdmaOne, що є комерційною назвою низки стандартів, зокрема, IS-95, IS-95A, IS-95B і стандарту J-STD-008 (PSC, який функціонує в діапазоні частот 1900 МГц). До речі, стандарт IS-95C не має безпосереднього відношення до cdmaOne, а є варіацією стандарту cdma2000 у версії cdma2000 1X. Варіації стандарту IS-95 (IS-95A, IS-95B) іноді називаються специфікаціями. Специфікація IS-95B дозволяє об'єднувати до восьми логічних каналів, що теоретично має забезпечити швидкість передавання даних до  $8 \times 14,4 \text{ кбіт/с} = 115,2 \text{ кбіт/с}$ . Реально мережі зв'язку, які базуються на використанні специфікації IS-95B нині забезпечують швидкість до 64 кбіт/с. Проект cdma2000 є проміжним етапом щодо переходу до IMT-2000. Передбачалися три стадії розвитку cdma2000: 1X, 3X і cdma2000 DS.

CDMA 1X (CDMA 1XRTT) дозволяє збільшити кількість логічних каналів до 128 у тій же смузі спектра шириною 1,25 МГц зі швидкістю передавання даних до 144 кбіт/с.

Технологія збільшення швидкості передавання HDR (High Data Rate) базується на застосуванні іншого методу модуляції - 8PSK (замість квадратурної фазової модуляції QPSK, яка використовується в CDMA). Технологія HDR дозволяє досягнути значень пікових швидкостей близько 2,4 Мбіт/с у смузі частот шириною 1,25 МГц.

Специфікація CDMA 3X - друга фаза проекту cdma2000. з позначкою 3X, що вказує на використання потроєної спектральної смуги каналу cdmaOne:  $3 \times 1,25 \text{ МГц} = 3,75 \text{ МГц}$ . При цьому в прямому каналі дані передаються паралельно трьома каналами стандарту IS-95 шириною 1,25 МГц (метод передавання за кількома несучими частотами - Multi Carrier, MC), а у зворотному каналі передавання здійснюється в смузі частот 3,75 МГц (із розширенням спектра методом прямої послідовності). Узагальнений спектр сигналів для специфікації CDMA 3X зображений нарис. 8.33.

Нині в Україні функціонують лише системи CDMA-800, які базуються на використанні стандарту IS-95A. Повна назва стандарту IS-95 (Interim Standard - проміжний стандарт) - TIA/EIA/IS-95 свідчить про участь у його розробці Електронного промислового альянсу (EIA, Electronic Industry Alliance). Аббревіатура IS-95 використовується для обліку в Асоціації телекомунікаційної промисловості (TIA, Telecommunication Industry Association), а цифри позначають порядковий номер розробки.



Системи CDMA-800 і CDMA-450 використовують сигнали з розширенням спектра із застосуванням методу прямого розширення спектра (CDMA- DS). Ширина спектра одного радіочастотного каналу на рівні мінус 3 дБ становить 1,23 МГц (1,5 МГц на рівні мінус 40 дБ). В межах одного радіочастотного каналу може бути організовано 64 кодових канали (за кількістю застосованих ортогональних функцій

Уолша - 64). Адресною ознакою кодо- Рис. 8.33. Спектр сигналів вого каналу на лінії „вниз” (від базової для специфікації CDMA 3X станції до абонентської) є номер застосованої функції Уолша, на лінії „вгору” - квазіортогональні довгі псевдовипадкові послідовності. Взагалі, у стандарті IS-95A використовуються три групи кодів: коди Уолша, короткі та довгі коди.

Узагальнені відомості про зазначені групи кодів наведені в табл. 8.25. Таблиця 8.25 - Застосування груп кодів у системі CDMA-800

Тип коду	Довжина коду	Призначення	
		Базова станція	Абонентська станція
Код Уолша	64	Адресне розділення	Заводостійке кодування
Короткий код	$2^{15} = 32\ 768$	Розділення базових станцій за значення циклічного зсуву	Код із однакою циклічним зсувом як опорний сигнал скремблера
Довгий код	$2^{42} - 1$	Опорна послідовність скремблера	Фрагмент довгого коду як адресна послідовність

Застосування різних кодових послідовностей зумовлено такими чинниками. Сигнали, випромінювані базовою станцією, надходять до приймача абонентської станції без взаємних часових зсувів, оскільки в межах одного променя всі сигнали проходять однакою відстань. Синхронізація адресних послідовностей забезпечується за рахунок передавання сигналів синхронізації відповідним каналом ( $W_{J2}$ ). Тому з метою мінімізації міжканальних радіозавад у прямому каналі для формування адресних послідовностей можливе застосування ансамблю ортогональних функцій, прикладом яких може служити ансамбль функцій Уолша.

Дещо інша ситуація має місце у зворотному каналі: адресні послідовності, що надходять від різних абонентських станцій на вході приймача базової станції мають різні зсуви за часом і потужні сигнали, які надійшли від абонентської станції, що розташована ближче, можуть маскувати малопотужні сигнали. З одного боку, це призводить до нагальної необхідності регулювання потужностей абонентських станцій для вирівнювання потужностей усіх сигналів, що прийняті базовою станцією, з іншого боку - ансамбль ортогональних сигналів для зворотного каналу зв'язку повинен мати високий рівень кореляційних властивостей, тобто, забезпечувати:

- високий рівень автокореляції сигналів;
- низький рівень кореляції не лише сигналів із різними кодовими послідовностями, а й сигналів, сформованих із використанням однієї кодової послідовності навіть у разі незначного зсуву за часом;
- низький рівень стисненого сигналу.

Крім того, такі сигнали повинні забезпечувати дуже просте їхнє формування. В системах CDMA набули поширеного застосування бінарні коди на базі  $\hat{\wedge}$ -послідовностей, що зумовлено особливими властивостями періодичних автокореляційних функцій таких кодів (рівень бічних пелюсток таких функцій постійний і дорівнює (за модулем)  $1/N$ , де  $N$  - довжина  $M$ - послідовності). Принцип формування сигналів у каналі „вниз” проілюстрований рис. 8.34.



Рис. 8.34. Принцип формування сигналів у каналі „вниз”

Процедура формування сигналу в каналі „вниз” полягає в тому, що після застосування процедур кодування та перемежування сформована (вхідна) послідовність символів (зі швидкістю 19200 симв./с) надходить до скремблера, де модулює (шляхом виконання операції складення за модулем 2) довгий код, який представляє собою  $M$ -послідовність довжиною  $2^{42}-1$  символів і несе інформацію про індивідуальний номер абонента в мережі. Крім того, застосування скремблювання інформації довгим кодом - потужний криптографічний засіб забезпечення високого ступеня конфіденційності інформації, що передається. Генератор довгого коду формує квазівипадкову послідовність символів із частотою 1,2288 Мчп/с. Але дещиматор зменшує тактову частоту до 19,2 кбіт/с шляхом застосування для певного абонента лише кожного 64-го символу послідовності.

Після мультиплексування послідовність символів надходить до кодового модулятора, де кожен символ послідовності модулюється однією з 64 функцій Уолша. Модульовальна функція Уолша надає кодовому каналу адресну ознаку (тобто номер функції Уолша однозначно визначає номер каналу трафіка даної базової станції), тому кодові канали нумеруються відповідно до номера модульовальної функції (від 0 до 63). Ширина спектра сигналу визначається тривалістю елементарного символу функції Уолша.

З виходу модулятора сигнал із тактовою частотою 1,2288 Мчп/с надходить і обробляється у двох каналах (синфазному та квадратурному), де здійснюється його додаткове кодування шляхом застосування двох псевдо- випадкових  $M$ -послідовностей довжиною  $2^{15}-1$ . У кожному каналі застосовуються різні послідовності, але вони однакові для всіх 64 адресних каналів. Сформовані в прямому каналі квадратурні складники сигналів усіх 64 каналів CDMA об'єднуються та складаються (в режимі лінійного підсумовування) з „ваговими” коефіцієнтами, що визначаються за рівнем потужності сигналу, призначеного для певного абонента мережі. З метою формування комплексного сигналу ПЧ у прямому каналі застосовується модуляція QPSK.

Як зазначено раніше, принципи формування сигналу у зворотному та прямому каналах суттєво відрізняються. Принцип формування сигналу в прямому каналі в системах стандарту IS-95 пояснюється рис. 8.35.

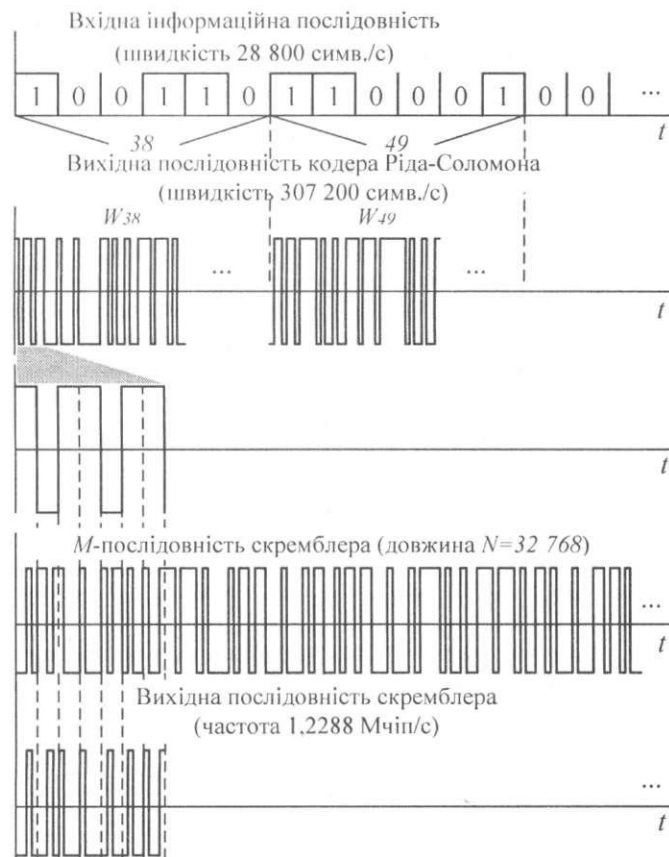


Рис. 8.35. Принцип формування сигналів у каналі „вгору”

Після процедур кодування, перемежування та шифрування потік символів вхідної послідовності зі швидкістю 28 800 симв./с надходить до кодера Ріда-Соломона. Під час кодування цей потік поділяється на пакети з 6 символів у кожному. Набір символів визначає число від 0 до 63 ( $2^6 - 1$ ) у десятковій системі числення й кожному пакету на виході кодера ставиться у відповідність номер однієї з функцій Уолша:

$$\begin{aligned}
 000\ 000 &= 00_{10} \rightarrow W_0; \\
 \dots\dots\dots & \\
 011\ 010 &= 25_{10} \rightarrow W_{25}; \\
 \dots\dots\dots & \\
 111\ 111 &= 63_{10} \rightarrow W_{63}.
 \end{aligned}$$

В процесі кодування *набір із 6 інформаційних символів замінюється однією з ортогональних функцій ансамблю функцій Уолша*. Таким чином, на відміну від прямого каналу, у зворотному каналі систем CDMA-450 і CDMA-800 функції Уолша використовуються *не для розширення спектра вихідного сигналу та формування адресних послідовностей, а для підвищення завадостійкості передавання інформації*.

Далі сигнали надходять до кодового модулятора та скремблера, які забезпечують розширення спектра сигналів. Швидкість потоку символів на виході кодера становить  $28\,800 \text{ симв./с} \times 64/6 = 307\,200 \text{ симв./с}$ .

У кодовому модуляторі застосовується довгий код (довжиною  $2^{12} - 1$ ).

Всі абонентські станції використовують однаковий довгий код, але з різним циклічним зсувом. Таким чином, кожній абонентській станції приводиться у відповідність „свій” фрагмент  $\wedge$ -послідовності, який автентичний для кожної абонентської станції. В зв'язку з тим, що в каналі зворотного трафіка не застосовується дециматор, структура кодової послідовності зберігається.

З виходу кодового модулятора сигнал надходить до квадратурних каналів скремблера, де складається (за модулем 2) з фрагментами коротких кодів. В усіх абонентських станціях використовуються однакові короткі коди, які представляють собою дві різні (для двох квадратурних каналів) псевдовипадкові послідовності довжиною  $2^{15} = 32\,768$  символів. Фрагменти коротких кодів формуються шляхом „вирізання” із загальної послідовності довжиною 32 768 символів 64 позицій з відповідним циклічним зсувом, що дозволяє сформувати автентичну адресу для  $32\,768/64 = 512$  базових станцій (у разі якщо кількість базових станцій більша 512 завжди є можливість такого їхнього розташування, що в зоні доступу певної абонентської станції ніколи не буде двох базових станцій з однаковими адресами).

В системі CDMA-800 використаний такий розподіл 64 логічних каналів (зумовлений застосуванням 64 кодових послідовностей Уолша):

- 1 канал використовується для безперервного передавання пілот- сигнапу;
- 7 каналів використовуються для створення пейджингових каналів;
- 55 каналів використовуються як інформаційні.

Пілот-сигнал застосовується абонентською станцією для „захоплення” несучої частоти й регулювання рівня випромінюваної потужності.

В разі використання в одному стільнику більше, ніж однієї несучої частоти можлива інша конфігурація, в якій усі пейджингові канали та канал синхронізації замінюються на інформаційні канали. При цьому на інших несучих частотах прямий канал буде складатися з одного пілотного та 63 інформаційних каналів.

Інформаційні канали призначені для передавання інформації мовлення і даних між базовою й абонентськими станціями та інформації сигналізації (до сигналізації відноситься також і канал керування потужністю абонент- ської станції). Структура кадрів дуплексного радіоканалу для обох напрямків зв'язку зображена на рис. 8.36.



Рис. 8.36. Структура кадрів дуплексного радіоканалу в системі CDMA-800

Пейджинговий канал призначений для передавання повідомлень, які адресовані до однієї чи декількох абонентських станцій. Такі повідомлення передаються базовими станціями, що знаходяться в зоні пошуку абонентських станцій у разі наявності сигналу щодо їхнього входження в мережу.

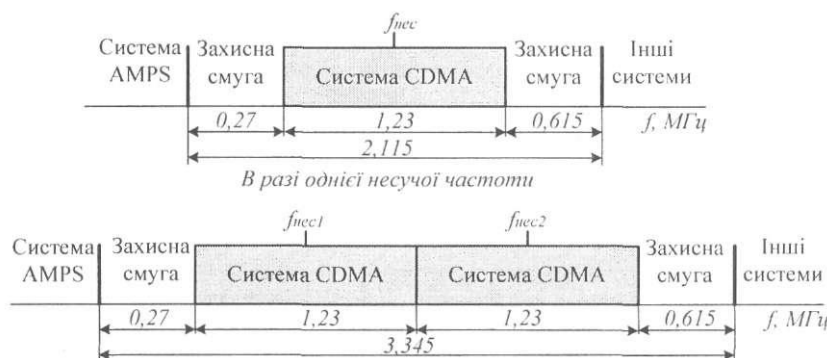
В каналі синхронізації (синхроканалі) всіх базових станцій використовується єдина функція Уолша  $W_{i2}$

В системі передбачено 4 швидкості передавання інформації: 1, 1/2, 1/4, 1/8 (режим роботи зі змінною швидкістю не обов'язковий).

Розподіл радіочастот у системах CDMA-800 і CDMA-450 базується на застосуванні єдиної сітки частот 30 кГц.

В системі стандарту IS-95 кластер (тобто група стільників із різними несучими частотами) складається з одного стільника.

Це означає, що сусідні стільники можуть використовувати такі ж несучі частоти. В разі застосування для стільника кількох несучих частот вони розташовуються з кроком 1,23 МГц (що відповідає 41 вузькосмуговому каналу із шириною смуги частот каналу 30 кГц). Для зменшення впливу радіозавад від сусідніх каналів між каналами застосовуються захисні інтервали. Розподіл смуг частоту стандарті IS-95 ілюструється рис. 8.37.



В разі двох несучих частот

Рис. 8.37. Смуга частот, яку займає система CDMA-800 в стандарті IS-95

Якщо смуга частот системи CDMA-800 знаходиться поряд зі смугою систем AMPS або D-AMPS, ширина захисного інтервалу становить 270 кГц (що відповідає 9 вузькосмуговим каналам із шириною смуги частот 30 кГц). В разі розташування смуги частот системи CDMA-800 поряд з іншими системами, ширина смуги частот захисного інтервалу збільшується до 615 кГц.

Передавання інформації здійснюється з фіксованою швидкістю 1,2288 Мсимв./с.

Для збільшення стійкості до завмирань сигналу передбачене застосування блокового перемежовування. Захист інформації забезпечується шляхом шифрування інформації із застосуванням процедури скремблювання.

Однією з основних особливостей системи CDMA-800 є застосування режиму динамічного регулювання рівня потужності як базової, так і абонентської станцій. При цьому застосовуються три механізми регулювання потужності:

- у прямому каналі - за методом „розімкнутої петлі”;
- у прямому каналі - за методом „замкнутої петлі”;
- у зворотному каналі.

Під прямим каналом мається на увазі канал від базової до абонентської станції, під зворотним - канал від абонентської станції до базової.

Використання схеми регулювання у зворотному каналі забезпечує перерозподіл випромінюваної потужності між абонентами таким чином, щоб забезпечувати прийнятну якість зв'язку для всіх абонентів. Основна мета регулювання рівня потужності у зворотному каналі - оптимізація покриття стільника. Принцип регулювання базується на положенні, що рівень потужності сигналу, який випромінюється певним абонентським терміналом, залежить від рівня затухання сигналу на трасі поширення радіохвиль: чим більший рівень затухання, тим рівень випромінюваного сигналу повинен бути більшим.

Метод регулювання полягає в тому, що базова станція випромінює пілот-сигнал із постійним рівнем потужності, який на (4 - 6) дБ більший рівня сигналу в інформаційних каналах. Вимірюючи рівень пілот-сигналу базової станції, абонентська станція оцінює втрати потужності прийнятого сигналу на трасі поширення від базової до абонентської станції. Надалі рівень потужності абонентської станції встановлюється таким, за якого рівень сигналу на вході приймача базової станції знаходиться в заданих межах. Регулювання потужності випромінювання призначене для компенсації ефектів затухання та повільних завмирань у зворотному каналі. Період регулювання становить близько 30 мс.

Процес регулювання рівня випромінюваної потужності в прямому каналі дещо відрізняється від регулювання у зворотному каналі. Основна мета автоматичного регулювання рівня потужності в прямому каналі - обмеження рівня внутрішньосистемних радіозавад за рахунок зменшення рівня випромінюваної потужності базової станції. Після закінчення синхронізації абонентська станція вимірює потужність прийнятого сигналу базової станції й розраховує потужність сигналу, що потрібна для забезпечення зв'язку з базовою станцією. Розрахунки ґрунтуються на застосуванні положення, за яким сума рівнів випроміненої потужності базової станції та потужності прийнятого сигналів повинна бути постійною й дорівнювати значенню мінус 73 дБ (наприклад, якщо рівень прийнятого сигналу дорівнює мінус 90 дБ, то рівень випромінюваної потужності базової станції повинен дорівнювати мінус 17 дБ).



Крім того, під час приймання оцінюється частота помилкових кадрів (FER, Frame Error Rate). У процесі регулювання рівень потужності випромінювання базової станції в інформаційному каналі за командами абонентської станції періодично зменшується до тих пір, поки частота помилкових кадрів в абонентській станції не стане більшою порогового рівня. Тоді абонентська станція надсилає команду щодо збільшення потужності випромінювання в певному інформаційному каналі. Така процедура забезпечує ефективний перерозподіл обмеженого ресурсу потужності базової станції. В цьому разі потужність змінюється з кроком 0,5 дБ у діапазоні 6 дБ з періодом приблизно (15 - 20) мс.

Використання схеми із „замкнутим” циклом („замкнутою петлею”) викликано різним затуханням радіохвиль на частотах приймання та передавання, а також відсутністю пілот-сигналу в сигналі, що випромінюється абонентською станцією. В діапазонах частот, які відповідають прямому та зворотному каналам, близькими за значенням є середні рівні затухання сигналів на трасі поширення. Тому після приймання та оброблення сигналу від абонентської станції базова станція оцінює відношення сигнал/шум у приймальному тракті та порівнює його з пороговим рівнем за критерієм співвідношення амплітуд сигналів на виходах підканалів кореляторів і частоти помилкових кадрів (FER). За результатами порівняння базова станція надсилає до абонентської станції команди щодо регулювання рівня її потужності. Абонентська станція отримує команди регулювання кожні 1,25 мс і регулює потужність передавача з кроком  $\pm 0,5$  дБ у діапазоні 85 дБ. Така схема (із „замкнутим” циклом) орієнтована на врахування швидких завмирань сигналу на трасі поширення радіохвиль.

Ще однією важливою особливістю системи CDMA-800 є вирішення проблеми усунення шкідливого впливу багатопроменевого поширення радіохвиль, яка базується на застосуванні RAKE приймача.

Суть цієї проблеми полягає в тому, що якщо в багатопроменевому середовищі (до якого належить, зокрема, середовище поширення радіохвиль за умови щільної міської забудови) множинні версії сигналу надходять до приймача базової станції із взаємною затримкою за часом меншою, ніж елементарний інтервал, то приймач базової станції може відновити сигнал, прийнявши один сигнал за домінуючий. При цьому решта сигналів буде розглядатися як шум або радіозавада. Але продуктивнішим є відновлення сигналів, які надійшли до приймача різними шляхами, з корекцією часу затримки та наступним їх складенням. Цей принцип використовується в RAKE приймачах. Принцип дії RAKE приймача проілюстрований на рис. 8.38.

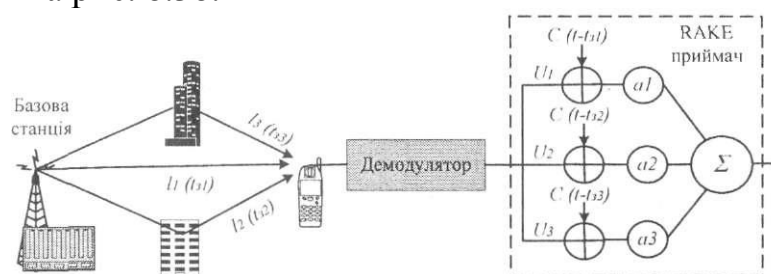


Рис. 8.38. Принцип дії RAKE приймача

Через наявність ефекту багатопроменевого поширення до приймача базової станції надходить досить велика кількість копій одного сигналу з різними рівнями ( $U_1, U_2, \dots, U_M$ ) і затримками за часом  $t_{h1}, t_{h2}, \dots, t_{hN}$ . Після демодуляції в приймачі

абонентського терміналу (або базової станції) демодульований потік елементів сигналу надходить до RAKE приймача. В його кореляторі для кожного сигналу спочатку встановлюється „своя” затримка за часом  $C(t-t_1)$ ,  $C(t-t_2)$ , ...,  $C(t-t_N)$ , далі всі сигнали складаються з урахуванням „своїх” вагових коефіцієнтів  $a_1, a_2, \dots, a_N$ , притаманних для кожного каналу. Таким чином, застосування такої процедури в разі завмирання сигналу, зумовленого багатопроменевим поширенням радіохвиль, забезпечує енергетичний вигравш (збільшення рівня прийнятого сигналу) та високу завадостійкість системи.

Під час приймання на базовій станції використовується просторове рознесення, кратність якого залежить від кількості антен. RAKE приймач базової станції складається із чотирьох паралельних каналів кореляційного оброблення п кожному тракті просторового рознесення, що дозволяє здійснювати приймання сигналів із чотирикратним рознесенням за часом. Для пошуку найпотужнішого сигналу застосовуються два додаткові скануючі канали приймача.

В абонентській станції застосовується RAKE приймач із трьома паралельними каналами кореляційного оброблення та один скануючий приймач. Після „захоплення” несучої частоти абонентська станція обробляє дані в пілотному каналі та виділяє найпотужніші сигнали. При цьому на етапі пошуку використовується допоміжний скануючий канал.

В системах стільникового зв'язку CDMA-800 та CDMA-450 на лінії „вгору” застосовується офсетна (зміщена) квадратурна фазова маніпуляція (OQPSK), на лінії вниз - звичайна QPSK.

Максимальні випромінювані потужності передавачів базових станцій не перевищують рівня 50 Вт, абонентських терміналів знаходяться в межах від 0,3 до 1,0 Вт. Радіус зон обслуговування практично не більший одиниць кілометрів.

Системи CDMA-800 і CDMA-450 забезпечують „м'який” хендовер (*soft handover*) у разі переходу абонента від однієї базової станції до іншої завдяки можливості абонентської станції одночасно приймати та обробляти сигнали від кількох базових станцій. Переваги „м'якого” хендовера полягають у виключенні можливості переривання сеансу зв'язку та втрати інформації у процесі переміщення абонента з одного стільника до іншого (або під час його руху) чи в межах радіопокриття двох базових станцій.

Форма спектра сигналу описується функцією „косинус на підставці”, що забезпечує високу ефективність сигналів щодо використання РЧР. Реальний спектр сигналу базової станції системи CDMA-800 зображений на рис. 8.39, а спектр сигналу базової станції системи CDMA-450 - на рис. 8.40.

Спектр випромінюваного сигналу CDMA, що формується шляхом об'єднання 64 сигналів, кодованих базовими функціями Уолша, наближається до спектра шумоподібного сигналу. При цьому його пік-фактор становить близько 11. Це означає, що для досягнення однакової якості зв'язку для базової станції стандарту GSM потрібен підсилювач із вихідною потужністю 44 Вт, для базової станції стандарту D-AMPS (ADC) необхідна потужність зменшується до 31 дБ, а для базової станції стандарту CDMA-800 - до 10 Вт.

В системі CDMA-800 використовуються сигнали з класами радіовипромінювання *1M25G1D* і *1M23G4D*. Для першого зазначеного класу ширина необхідної смуги частот становить 1,23 МГц, ширина контрольної - 1,722 МГц, для другого, відповідно - 1,25 МГц і 1,75 МГц.

Версія стандарту IS-95B базується на об'єднанні кількох каналів CDMA в прямому напрямку, що дозволяє забезпечити збільшення швидкості передавання даних від 28,8 кбіт/с (у разі об'єднання двох каналів зі швидкістю 14.4 кбіт/с для кожного каналу) до 115,2 кбіт/с (у разі об'єднання 8 каналів).

На відміну від системи CDMA-800 система CDMA-450 (яка також має позначення IMT-MC-450) представляє собою одну із реалізацій систем покоління 3G. Застосування RAKE приймачів дозволяє складати (за потужністю) не лише сигнали декількох променів від одного сектору базової станції, а й від різних секторів однієї базової станції (понадм'який хендовер), а також від різних базових станцій (м'який хендовер - *soft handover, SHO*). Це дозволяє не лише зменшити потужність випромінювання передавача, але й збільшити ємність системи. Система CDMA-450 ґрунтується на застосуванні однієї зі специфікацій стандарту IS-95 - розробленої в 1999 р. версії IS-2000 rev. 0, яка позначається як T1A-E1A-IS-CDMA2000 (CDMA-MC). Ця версія призначена для систем, які працюють у діапазоні частот 450 МГц, і поєднує в собі сімейство стандартів, розроблених Групою 3GPP2. виданих T1A й ухвалених MCE для систем IMT-2000: cdma2000 1X, cdma2000 1xEV-DO (EVolution- Data Only або у пізніший трактовці - Data Optimized) та cdma2000 1xEV-DV (EVolution-Data+Voice).

Нині існують два напрямки розвитку систем IMT-MC:

- безпосереднє вдосконалення системи IMT-MC;
- розвиток технології збільшення швидкості передавання HDR (High Data Rate) або EV (EVolution).

Технологія HDR складається із двох фаз: їх EV-DO та їх EV-DV. В основу HDR покладений принцип роздільного передавання інформації мовлення й даних, оскільки ці два види інформації принципово відрізняються за характером трафіка та за вимогами до основних параметрів якості обслуговування (QOS).

Оптимізація системи CDMA-450 з точки зору передавання даних дозволяє максимально збільшити її спектральну ефективність - до 1,6 Мбіт/МГц (для версій стандарту EV-DO rev. 0 і EV-DV rel. C) або до 2,07 Мбіт/с (для EV-DO rev. A і EV-DV rel. D). При цьому система їх EV-DO потребує використання окремої несучої частоти та інших (двомодових) абонентських терміналів, а система EV-DV забезпечує повну сумісність із системою IMT-MC, у тому числі, й роботу на загальній несучій частоті (в загальній смузі частот) і допускає застосування „старого” абонентського обладнання 1 х.

У стандарті 1xEV-DO передавання інформації мовлення може здійснюватися лише в режимі VoIP (Voice over IP), а в системі EV-DV rel. D забезпечується також передавання інформації мовлення в режимі комутації каналів (режим їх).

В Україні система CDMA-450 застосовується в стандарті cdma2000 1X- EV-DO і використовується виключно для передавання даних. Тому в дозволі на експлуатацію РЕЗ в Україні класи радіовипромінювання позначаються як **1M23G4D**, **1M23G4D+1M23G4D** та **1M23G4D+1M23G4D+1M23G4D**. Таке позначення свідчить про застосування для передавання інформації відповідно одного, двох та трьох каналів.

В системі CDMA-450 застосовуються досить складні системи динамічного регулювання потужностей передавачів абонентських терміналів і базових станцій і імрммірамн. які суттєво перевищують аналогічні для системи GSM: глибині реї уші ні. пінії сіановить 80 дБ. крок регулювання - 0,5 дБ, точність 0,5



кожному секторі (до 128) із незначним зменшенням зони обслуговування базової станції. В системах ІМТ-МС у прямому каналі конфігурації RC3 і RC4 можуть застосовуватися одночасно.

Крім того, для забезпечення однакової пропускної здатності передавання сигналів мовлення система GSM потребує в декілька разів більшої ширини смуги частот порівняно із системою ІМТ-МС-450. Так, пропускна здатність одного стільника базової станції ІМТ-МС із трьома секторами (з трьома несучими частотами) становить  $3 \times 20,2 \text{ Ерл} = 60,6 \text{ Ерл}$ . Забезпечення такого навантаження (за рівнем утрат не більше 2 %) потребує 78 каналів трафіка, що, у свою чергу, вимагає використання 10 несучих частот (для спрощення розрахунків пропускної здатності системи GSM вважаємо, що перша несуча частота має сім каналів трафіка та один тайм-слот використовується для загального каналу сигналізації (BCCH), решта несучих частот мають по вісім каналів трафіка). Кластер типу 4/12 потребує ширини смуги частот рівної  $0,2 \text{ МГц} \times 12 = 2,4 \text{ МГц}$ . Таким чином, за однакової щільності розташування базових станцій на певній території ємність (спектральна ефективність) системи CDMA-450 у (6 - 7) разів вища ємності системи GSM.

Однією з важливих переваг радіотехнології ІМТ-МС є можливість високошвидкісного пакетного передавання даних (ВШПД) зі швидкістю до 153 кбіт/с. При цьому закладені у специфікації можливості ВШПД максимально зорієнтовані на користувачів Internet, що працюють в інтерактивному режимі, а швидкість передавання даних у мережі Internet залежить від ресурсу, до якого звернений запит. У режимі ВШПД користувачу крім основного каналу (зі швидкістю 9,6 кбіт/с) може бути наданий додатковий канал зі швидкістю 9.2 кбіт/с, 38.4 кбіт/с, 76,8 кбіт/с або 153,6 кбіт/с. У разі незначного обсягу питомого ресурсу повношвидкісний додатковий канал не надається. При цьому середня швидкість під час сеансу зв'язку становить (40 - 60) кбіт/с. У разі запиту щодо доступу до ресурсу обсягом декілька мегабайт адаптивний алгоритм забезпечує надання повношвидкісного додаткового каналу, при цьому середня швидкість передавання даних за сесію для користувача становить 100 кбіт/с (для порівняння - пікові швидкості GPRS становлять  $4 \times 13,4 \text{ кбіт/с} = 53,2 \text{ кбіт/с}$  на лінії „вниз” і 26,8 (13,4) кбіт/с - на лінії „вгору”). Діапазон 450 МГц забезпечує мінімальне затухання на трасі поширення сигналу, що зумовлює максимально можливий радіус дії стільника ІМТ-МС-450. Порівняно із системою NMT-450 система CDMA-450 має виграш у бюджеті лінії зв'язку понад 10 дБ, а порівняно із системою GSM - понад (3 - 4) дБ.

Порівняно з мережами NMT-450 і GSM мережі CDMA-450 мають такі переваги:

- значно більшу зону охоплення (радіус зони обслуговування);
- більшу ємність (у розрахунку на одну базову станцію та смугу частот);
- можливість високошвидкісного передавання даних у пакетному режимі;
- забезпечення плавного переходу від мереж покоління 1G до мереж покоління 3G.

Для системи CDMA-450 передбачені смуги частот від 452,5 МГц до 457,475 МГц (на лінії „вгору”) та від 462,5 МГц до 467,475 МГц (на лінії „вниз”) із дуплексним рознесенням 10 МГц (на відміну від 45 МГц у системі CDMA-800). За

даними CDMA Development Group нині 67 операторів у 36 країнах світу вже надають послуги в системі CDMA-450 понад 12 мільйонам чоловік. Крім того, ще в 24 країнах нині розгортаються 36 мереж систем CDMA-450. Із 33 нових мереж CDMA у світі, побудованих за останній час, 19 - це мережі CDMA-450.

До основних особливостей організації мереж зв'язку й технічних параметрів радіовипромінювання передавачів систем рухомого (мобільного) стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450 можна віднести такі:

1) загальна зона обслуговування в мережі радіозв'язку одного оператора CDMA створюється шляхом об'єднання зон радіопокриття окремих територіально рознесених базових станцій;

2) досить малі розміри зон радіопокриття окремих базових станцій;

3) наявність у будь-якому місці території сигналів випромінювань передавачів кількох базових станцій;

4) застосування принципу повторного використання набору робочих частот для кластера базових станцій, що може призвести до наявності в певному місці сигналів на одній частоті від кількох базових станцій;

5) низька спектральна щільність потоку випромінювання, зумовлена широкою смугою частот випромінювання;

б) наявність ефекту відбивання променів від будівель і споруд, металевих конструкцій, місцевих предметів тощо;

7) неможливість ідентифікації базових станцій класичними засобами радіомоніторингу;

8) частина діапазону робочих частот системи CDMA-800 співпадає з частиною діапазону робочих частот систем D-AMPS і спеціальних РЕЗ служби повітряної радіонавігації.

#### **8.7.5.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ у смугах частот систем цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450**

Враховуючи досить малу потужність випромінювання передавачів абонентських терміналів (як правило, до 1 Вт) та їхню мобільність, потрібно відмітити, що проведення моніторингу у смугах частот роботи мобільних терміналів і технічного радіоконтролю параметрів випромінювання їхніх передавачів недоцільне, а, в більшості випадків, і неможливе.

*Проведення моніторингу у смугах частот роботи передавачів базових станцій в мережах систем зв'язку CDMA-800 і CDMA-450 стаціонарними засобами радіомоніторингу також неможливе й недоцільне.*

Моніторинг у смугах частот роботи передавачів базових станцій цих систем зв'язку можливий лише із застосуванням *мобільних комплексів радіомоніторингу* й здійснюється з метою визначення ступеня зайнятості радіочастотних каналів, смуг частот, визначення стану електромагнітної обстановки, наявності радіопокриття в певних місцях, знаходження джерел радіозавад і може проводитися:

- на підставі планових і (або) позапланових завдань;
- на підставі заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- за запитами органів планування використання РЧР стосовно перевірки умов ЕМС.

Процедура перевірки умов ЕМС полягає в проведенні інструментального оцінювання рівнів напруженості електромагнітного поля на певних частотах (у

певній смузі частот) у контрольних пунктах, визначених під час проведення розрахунків ЕМС, і порівнянні їх із розрахунковими.

Технічний радіоконтроль може проводитися:

- за плановими завданнями;
- під час уведення базових станцій в експлуатацію;
- на підставі заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавод;
- на підставі угод з користувачами РЧР щодо проведення технічного радіоконтролю;
- для оцінювання якості обслуговування (QOS).

Під час проведення технічного радіоконтролю в мережах цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450 можуть контролюватися лише параметри випромінювання та характеристики передавачів базових станцій.

Процедура технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів базових станцій у мережах зв'язку систем CDMA-800 і CDMA-450 із застосуванням мобільних засобів радіомоніторингу типу РМ-1300М і РМ-1300М-1 полягає у виконанні таких операцій:

- виявлення радіовипромінювань;
- інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювань;
- ідентифікація радіовипромінювання стосовно його належності до певної базової станції;
- перевірка легітимності роботи та відповідності параметрів радіовипромінювання певних передавачів базових станцій вимогам ліцензій, дозволів на експлуатацію РЕЗ, інших нормативних документів.

Враховуючи особливості організації мереж зв'язку та технічних параметрів радіовипромінювання передавачів базових станцій системи CDMA-450 треба відмітити, що методи технічного радіоконтролю параметрів спектра випромінювання РЕЗ цієї системи зв'язку практично не відрізняються від методів технічного радіоконтролю випромінювання передавачів базових станцій системи CDMA-800.

Перед проведенням інструментального оцінювання (вимірювання) параметрів радіовипромінювання оператор повинен упевнитися в тому, що:

- сигнал, який аналізується, випромінюється передавачем потрібної базової станції;
- енергетичні характеристики цього сигналу забезпечують отримання вимірів із заданими показниками достовірності (якості);
- радіозаводи, випромінювання інших РЕЗ і радіовипромінювання в сусідніх каналах не впливають на результати вимірювань.

В процесі технічного радіоконтролю випромінювання передавачів базових станцій також може проводитися інструментальне оцінювання (вимірювання) таких його параметрів:

- частота (номер каналу);
- діапазон робочих частот передавача базової станції;
- ширина займаної смуги частот;
- напруженість електромагнітного поля та рівень сигналу.

Під час інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання для зменшення впливу на його результати випромінювань інших РЕЗ (зокрема, базових станцій) мобільний комплекс радіомоніторингу повинен бути розташований поблизу

базової станції, параметри випромінювання якої вимірюються, а портативні засоби - на домінуючих елементах місцевості (наприклад, на дахах будівель).

*Несуча частота* визначається як середня частота вимірної ширини смуги частот. За результатами вимірювання несучої частоти визначаються номери частотних каналів.

*Повний діапазон робочих частот* базової станції визначається шляхом спостереження та виявлення радіовипромінювань у певній смузі частот. Для систем зв'язку CDMA-800 вимірювання суттєво спрощуються, якщо для проведення технічного радіоконтролю застосовується спеціалізоване портативне обладнання радіомоніторингу мереж стільникового зв'язку, яке, крім визначення номерів частотних каналів і діапазонів робочих частот кожної базової станції, дозволяє також визначати ідентифікаційний код базової станції (СЮ). Для систем зв'язку CDMA-450 таке спеціалізоване обладнання нині взагалі відсутнє.

Враховуючи технічні можливості сучасних мобільних засобів радіомоніторингу треба відмітити, що інструментальне оцінювання ширини займаної смуги частот випромінювання передавачів базових станцій систем зв'язку CDMA-800 і CDMA-450 методами технічного радіоконтролю вважається за недоцільне.

## 8.8 Радіорелейний зв'язок

### 8.8.1 Загальні відомості про радіорелейні системи

Під радіорелейними системами маються на увазі безпроводові радіосистеми передавання, в яких сигнали передаються за допомогою наземних ретрансляційних станцій, поєднаних у радіорелейні лінії зв'язку. Такі лінії представляють собою ланцюжок приймально-передавальних радіорелейних станцій (кінцевих, проміжних, вузлових), які здійснюють послідовну багатократну ретрансляцію (приймання, перетворення, підсилення та передавання) сигналів [157, 158]. Умовне зображення організації радіорелейної лінії наведено на рис. 8.41.



Рис. 8.41. Умовне зображення організації радіорелейної лінії

Згідно із класифікацією радіорелейних систем [157, 159] за видом модульовального сигналу радіорелейні станції поділяються на аналогові, цифрові та аналогово-цифрові. Аналогові радіорелейні станції призначені, в основному, для передавання багатоканальних телефонних сигналів в аналоговій формі, сигналів даних із низькою та середньою швидкістю, а також сигналів телебачення й звукового супроводу. Цифрові радіорелейні станції використовуються для організації цифрових трактів передавання даних зі швидкостями від 2 Мбіт/с до 140 Мбіт/с, багатоканальних телефонних сигналів у цифровому вигляді, сигналів відеотелефонів та телевізійних сигналів у закодованому виді. Радіорелейні системи займають діапазони УВЧ і НВЧ.



За принципами організації зв'язку розрізняють *тропосферні радіорелейні системи* та *радіорелейні системи прямої видимості*. Із цих двох груп останні є одним з основних засобів передавання сигналів цивільного призначення. Тому нижче будуть розглядатися лише радіорелейні системи прямої видимості.

У діапазонах УВЧ і НВЧ відстань надійного зв'язку з низьким рівнем шумів між сусідніми передавальною та приймальною станціями за умов відсутності перепон між ними в межах одного прогону  $R_{PPL}$  обмежується дальністю прямої видимості  $R_{пв}$ , яка для сферичної поверхні Землі з урахуванням нормальної атмосферної рефракції визначається (в кілометрах) за формулою

$$R_{PPL} \leq R_{пв} \approx 4,12 (\sqrt{h_{\text{ант.пер}}} + \sqrt{h_{\text{ант.пр}}}), \quad (8.21)$$

де  $h_{\text{ант.пер}}$  і  $h_{\text{ант.пр}}$  - висота підвісу передавальної та приймальної антен відповідно над рівнем земної поверхні (в метрах).

В реальних умовах для малопересіченої місцевості та висоти підвісу обох антен рівної 40 м дальність прогону становить (40 - 70) км.

Переважна більшість радіорелейних систем передавання багатоканальні. Для забезпечення багатоканальності використовуються методи частотного або часового розділення сигналів. Нині значного поширення набуло частотне розділення сигналів, але все більшого поширення набуває часове розділення в поєднанні з цифровими методами передавання даних.

До основних *особливостей організації зв'язку* в мережах радіорелейного зв'язку можна віднести:

- 1) організація ліній зв'язку, як правило, за схемою „промінь у промінь“;
- 2) надто вузькі головні пелюстки ДН передавальних АС у горизонтальній та вертикальній площинах (від  $5^\circ$  до  $1,5^\circ$ );
- 3) значна висота розташування над рівнем земної поверхні АС (від 40 м до 100 м);
- 4) відсторонення головної пелюстки ДН АС від земної поверхні (в більшості випадків вона спрямована паралельно поверхні Землі);
- 5) низький рівень бічних і задніх пелюсток ДН АС.

До основних особливостей треба також віднести те, що в зазначеному діапазоні радіочастот можуть функціонувати супутникові системи зв'язку.

За винятком кількох систем, розрахованих для роботи в смугах частот від 70 МГц до 80 МГц і від 400 МГц до 470 МГц, решта радіорелейних систем працюють на частотах понад 2 ГГц. Згідно з [18] для застосування РЕЗ радіорелейного зв'язку в Україні виділені смуги радіочастот від 1,71 ГГц до 15,35 ГГц. Конкретний розподіл РЧР для радіорелейних систем визначається Планами розміщення частот стволів для радіорелейних станцій.

Ефективність використання РЧР радіорелейними системами значною мірою визначається швидкістю передавання даних, яка залежить від застосованого методу модуляції сигналу та рівня стабільності частоти передавача.

Сукупність усіх цих факторів визначає ширину смуги частот, яка потрібна для забезпечення заданої швидкості передавання. Чим вища швидкість передавання, тим складніший вид модуляції потрібно застосовувати.

Вихідна потужність передавачів для радіорелейних станцій обмежується, з одного боку, міжнародними рекомендаціями (максимальне значення), з іншого, можливістю реалізації передавача з точки зору його габаритних розмірів,

надійності, рівня потужності електроспоживання. Реальна потужність передавачів діапазону НВЧ сучасних радіорелейних систем знаходиться в межах від 10 мВт до 10 Вт і лише в окремих випадках досягає 30 Вт [158].

РЕЗ радіорелейного зв'язку, застосування яких дозволено на території України у смугах радіочастот загального користування, використовують практично весь діапазон частот від 1,7 ГГц до 40 ГГц, виділений для фіксованої служби. При цьому ширина смуги частот сигналу може досягати 56 МГц, а потужність - 10 Вт. Деякі характеристики основних типів радіорелейних станцій передавання за технологією цифрової плезіохронної ієрархії PDH (Plesiochronic Digital Hierarchy) вітчизняного та іноземного виробництва для діапазонів частот від 2 ГГц до 40 ГГц наведені в Додатку Ж [158].

Як свідчить аналіз технічних параметрів радіорелейних станцій, вихідна потужність для переважної більшості їхніх типів не більша значення 28 дБм (640 мВт).

До основних *особливостей технічних параметрів і характеристик радіосигналів* РЕЗ радіорелейного зв'язку потрібно віднести такі:

1) РЕЗ цієї категорії працюють практично у всьому діапазоні частот від 1,5 ГГц до 40 ГГц;

2) частотна межа між аналоговими та цифровими радіорелейними системами лежить поблизу частоти 11 ГГц;

3) для передавання та приймання сигналів на одній радіорелейній станції використовуються різні радіочастоти;

4) в різних напрямках зв'язку можуть використовуватися хвилі різних типів поляризації;

5) низькі рівні вихідної потужності:

- не більше 30 Вт (від 0 дБВт до 12 дБВт) у діапазоні УВЧ та нижній частині діапазону НВЧ (від 1,7 ГГц до 7 ГГц);

- не більше 0,6 Вт (від мінус 23 дБм до мінус 28 дБм) у діапазоні частот від 6,5 ГГц до 27 ГГц;

б) надто велика ширина спектра радіовипромінювання в усіх діапазонах радіочастот;

7) досить велике значення рознесення між частотами передавання та приймання (десятки мегагерц).

До основних *особливостей характеристик радіосигналів* РЕЗ радіорелейного зв'язку треба також віднести використання великого різноманіття методів їхньої модуляції:

1) в аналогових радіорелейних станціях - ЧМ;

2) в цифрових радіорелейних станціях:

- квадратурної амплітудної модуляції з рівнем квантування 16 і більше (16-QAM, 32-QAM, 64-QAM), решітчастої кодової модуляції (Trellis-Coded Modulation, TCM), блокової кодової модуляції (Block-Coded Modulation, BCM), квадратурної фазової (QPSK) і модифікованої квадратурної фазової (OQPSK) модуляцій у високошвидкісних і середньошвидкісних радіорелейних системах;

- 2-PSK, QPSK, 4-FSK у низькошвидкісних радіорелейних системах.

В Рекомендації ITU-R F.758 [159] наведено перелік технічних даних, які доцільно використовувати для розрахунків параметрів EMC РЕЗ.

### 8.8.2 Особливості радіомоніторингу у смугах частот роботи РЕЗ радіорелейного зв'язку

Вказані раніше особливості організації зв'язку, технічних параметрів і характеристик радіовипромінювання РЕЗ радіорелейного зв'язку практично виключають можливість виявлення, а значить, і вимірювання параметрів випромінювання цієї категорії РЕЗ стаціонарними засобами радіомоніторингу. Щодо виявлення їхнього радіовипромінювання мобільними засобами радіомоніторингу, то воно може бути скоріше всього випадковим.

Крім цього моніторинг спектра радіовипромінювання РЕЗ даної категорії ускладнюється з таких причин:

- у зв'язку з тим, що одні й ті ж самі смуги радіочастот розподілені для фіксованої та супутникової радіослужб, то джерелом радіозавад у цих смугах частот можуть бути радіопередавачі, що встановлені на штучних супутниках Землі;

- в певному місці (пункті), де виявлені радіозавади, можуть бути присутні також випромінювання від декількох РЕЗ, тому для ототожнення джерела радіозавади потрібна просторова селекція радіовипромінювань, за допомогою, наприклад, попереднього пеленгування ДРВ.

Вирішення завдань технічного радіоконтролю в частині визначення місцезнаходження РЕЗ радіорелейних систем і вимірювання технічних параметрів їхнього радіовипромінювання можливе лише із застосуванням *спеціалізованих мобільних станцій технічного радіоконтролю* (ССТК) або *портативних засобів радіоконтролю*.

Технічний радіоконтроль може проводитися в таких випадках:

- 1) на підставі заяв від користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- 2) для перевірки результатів розрахунків умов (висновків) EMC;
- 3) в разі встановлення факту несанкціонованої роботи певної радіорелейної станції іншими методами;
- 4) для оцінювання стану використання РЧР (зайнятості певних смуг частот).

У першому випадку засоби радіоконтролю розташовують у місці, де за заявою користувача РЧР спостерігаються радіозавади, та проводять пошук (перевірку наявності) сторонніх радіовипромінювань. У разі виявлення радіо-

завади на певній частоті (певних частотах) здійснюють заходи щодо визначення напрямку (пеленгу) на джерело радіозавади і його місцезнаходження, та, за можливості, також установлюють факт невідповідності технічних параметрів радіовипромінювання цього ДРВ умовам EMC із РЕЗ користувача РЧР.

Якщо таким джерелом радіозавад виявиться радіорелейна **станція**, то в подальшому проводяться заходи щодо інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання безпосередньо біля передавача цієї станції. Якщо джерелом радіозавад визнано космічну станцію (космічні станції) • то реєструються технічні параметри радіовипромінювання. При цьому в подальшому, як правило, проводяться організаційні або технічні заходи щодо корегування частотного плану радіорелейної станції користувача РЧР.

В разі проведення перевірки розрахунків умов (висновків) EMC із застосуванням

зазначених засобів радіоконтролю проводять заходи стосовно оцінювання технічних параметрів радіовипромінювання у визначених (контрольних) пунктах. Конкретні умови проведення таких вимірювань повинні узгоджуватися з користувачем РЧР.

Факт несанкціонованої роботи певної радіорелейної станції може бути встановлений на підставі перевірки географічних координат її розташування, визначених шляхом візуального виявлення місцезнаходження станції чи із застосуванням приладів GPS, та звірення отриманих даних із даними БД обліку РЕЗ. Крім цього шляхом застосування мобільних комплексів радіо-моніторингу і портативного обладнання радіоконтролю проводиться інструментальне оцінювання значень несучих частот, на яких працює контрольований РЕЗ, ширини займаної смуги частотні часових режимів його роботи.

Стосовно оцінювання зайнятості смуг частот в діапазонах роботи РЕЗ радіорелейного зв'язку потрібно відмітити, що з урахуванням особливостей організації мереж зв'язку в радіорелейних системах (вузькі промені, організація зв'язку за схемою „промінь у промінь" тощо) кількісна оцінка зайнятості смуг частот повинна характеризувати наявність випромінювання в певному напрямку (з певного напрямку). В цілому оцінювання зайнятості (стану використання) смуг частот радіорелейними системами шляхом застосування мобільних комплексів радіомоніторингу і портативних засобів вважається недоцільним.

### **8.8.3 Методи технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання РЕЗ радіорелейного зв'язку**

У зв'язку з особливостями пеленгування ДРВ на частотах понад 1 ГГц (на яких, до речі, працює переважна більшість передавачів радіорелейного зв'язку) та пов'язаними з цим труднощами побудови систем пеленгування на базі використання електронних методів, пеленгування ДРВ на цих частотах проводиться шляхом визначення напрямку на нього із застосуванням електромеханічних методів. Встановлення конкретного місця знаходження ДРВ

може здійснюватися тріангуляційним методом із використанням направлених антен з високим коефіцієнтом направленої дії та механічним скануванням за азимутом. Конструкції таких антен повинні передбачати можливість:

- розташовування на щоглах мобільних комплексів радіомоніторингу (МКРМ);

- використання разом із портативними засобами радіоконтролю.

В будь-якому випадку вирішення завдання щодо визначення місцезнаходження радіорелейних станцій досить складне й базується на розрахунках точки перетину щонайменше двох азимутів, виміряних на контрольоване ДРВ із різних територіально рознесених позицій у межах його зони опромінення. Під зоною опромінення в цьому випадку мається на увазі область простору навколо передавача, в межах якої рівень сигналу не більше ніж на 3 дБ відрізняється від рівня сигналу в напрямку максимального випромінювання. Ілюстрація визначення ширини зони опромінення в азимутальній площині наведена на рис. 8.42.



Рис. 8.42. Приклад визначення ширини зони опромінення (вид зверху)

Ширину зони опромінення  $R_3$  можна визначити за формулою

$$R_3 = R_{MKPM} \sin \beta_{0,5P}, \quad (8.22)$$

де  $R_{MKPM}$  - відстань від антени радіорелейної станції до мобільного комплексу радіомоніторингу (ССТК);

$\beta_{0,5P}$  - ширина головної пелюстки ДН антени радіорелейної станції в горизонтальній площині за рівнем половинної потужності випромінювання.

Для  $R_{MKPM} = (5 - 7)$  км і  $\beta_{0,5P} = 1,5^\circ - 5^\circ$  відстань  $R_3 \approx (0,15 - 0,6)$  км.

Технічний радіоконтроль параметрів випромінювання РЕЗ радіорелейного зв'язку може бути організований шляхом застосування спеціалізованих станцій технічного радіоконтролю, оснащених відповідним обладнанням для вимірювання рівнів напруженості електромагнітного поля на частотах понад 3 ГГц або портативних засобів радіоконтролю.

В реальних умовах проведення радіоконтролю зона опромінення невідома, тому спочатку в місці де виявлені радіозавади чи сторонні радіовипромінювання за допомогою мобільних комплексів радіомоніторингу або

портативних засобів із застосуванням направлених антен визначають орієнтовний напрямок на ДРВ, а потім, пересуваючись перпендикулярно цьому напрямку, вимірюють додаткові пеленги (напрямки) на ДРВ.

У зв'язку з надто вузькою шириною зони опромінення („базою" пеленгування) метод дає значні похибки визначення координат ДРВ. Так, для ширини головної пелюстки ДН вимірювальної антени  $5^\circ$  похибка може досягати (2,5 - 4) км за відстанню. Крім того, за умови щільної міської забудови та екранування випромінювання будинками й спорудами застосування цього методу в переважній більшості випадків неможливе.

Згідно з рекомендаціями МСЕ [54, 56, 57], вимірювання одного з основних параметрів радіовипромінювання - напруженості електромагнітного поля - в разі застосування мобільних комплексів радіомоніторингу здійснюється з використанням антен, які встановлюються на підйомно-щогловому механізмі на висоті від 3 м до 10 м над поверхнею Землі. Однак, навіть за такої висоти підвісу вимірювальних антен ССТК не забезпечуються задані умови вимірювання (в межах головної пелюстки ДН антен радіорелейних станцій у безпосередній близькості від них), оскільки антени передавачів радіорелейних станцій розташовуються на висоті від 40 м до 100 м над рівнем земної поверхні.

Існують два варіанти вимірювання параметрів радіовипромінювання передавачів радіорелейних станцій:

- за бічними пелюстками ДН антени у вертикальній площині;
- за головною пелюсткою ДН антени у вертикальній площині.

За першим варіантом вимірювання виконуються шляхом розташування ССТК або портативних засобів радіоконтролю в місці, що відповідає напрямку випромінювання головної пелюстки ДН антени передавача радіорелейної станції, і

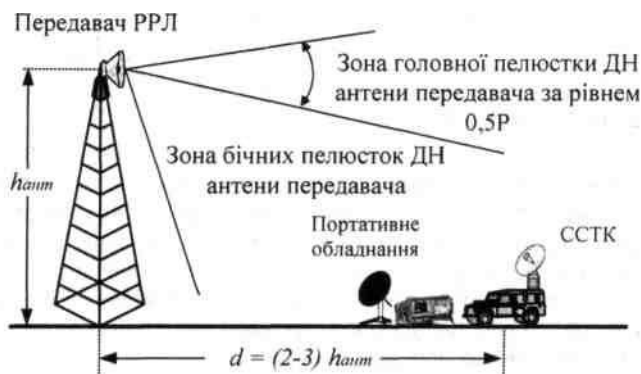


Рис. 8.43. Приклад вимірювання параметрів на відстані від антени, що становить  $d = (2-3) h_{ant}$  де  $h_{ant}$  - висота підвісу антени (рис. 8.43).

Рівень сигналу  $P_{np}$  у точці вимірювання визначається за формулою

$$P_{np} = P_{вих} + G_{БП} - L, \quad (8.23)$$

де-  $P_{вих}$  - вихідна потужність передавача;

$G_{БП}$  - рівень бічних пелюсток ДН антени у вертикальній площині;

$L$  - втрати передавання у вільному просторі на частоті / (МГц), які (в децибелах) розраховуються за формулою

$$L = 20 (\lg f + \lg d) + 32,45. \quad (8.24)$$

Метод вимірювання за другим варіантом базується на тому, що, навіть для значної висоти підвісу антени радіорелейної станції, починаючи з якоїсь певної відстані (за умов відсутності екранування випромінювання спорудами) головна пелюстка ДН антени „торкається” поверхні Землі (рис. 8.44).

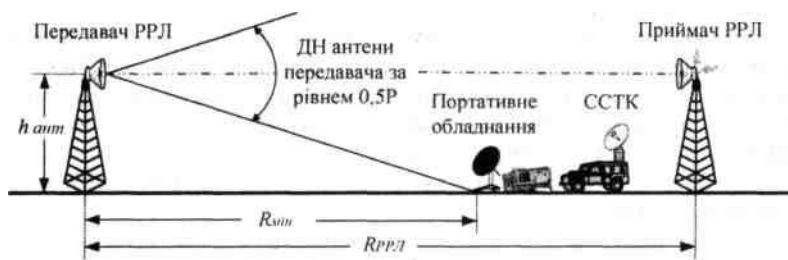


Рис. 8.44. Приклад вимірювання параметрів радіовипромінювання передавача радіорелейної станції за головною пелюсткою ДН антени

На відстані радіорелейного зв'язку в межах одного прогону (близько (40 - 70) км) кривизну поверхні Землі можна не враховувати та вважати її за плоску. Значення відстані на якій головна пелюстка ДН антени починає

„торкатися” поверхні Землі,  $R_{min}$  розраховується за формулою

$$R_{min} = h_{ant} \operatorname{ctg} (0,5 \varepsilon_{0,5P}), \quad (8.25)$$

де  $\varepsilon_{0,5P}$  - ширина головної пелюстки ДН антени у вертикальній площині на

рівні половинної потужності радіовипромінювання.

Для  $h_{cum} = 40$  м і  $\varepsilon_{0,5P} = 1,5^\circ - 5^\circ$  ця відстань становить (0,9 - 3,1) км.

У процесі проведення технічного радіоконтролю (вимірювання) параметрів радіовипромінювання передавачів РЕЗ радіорелейного зв'язку за цими варіантами можливе також вирішення завдання щодо визначення місцезнаходження РЕЗ і їхніх характеристик та інструментального оцінювання параметрів, зокрема:

- 1) визначення азимутів на РЕЗ як на ДРВ;
- 2) визначення місцезнаходження РЕЗ;
- 3) визначення несучої частоти радіовипромінювання;

4) інструментального оцінювання ширини займаної смуги частот радіовипромінювання;

5) визначення рівня відхилення несучої частоти радіовипромінювання від присвоєного значення;

6) визначення типу поляризації радіовипромінювання;

7) інструментального оцінювання напруженості електромагнітного поля (щільності потоку потужності) та рівня сигналу;

8) оцінювання зайнятості смуг (каналів) радіочастот у певному місці.

*Пеленг* на РЕЗ радіорелейного зв'язку визначається шляхом реєстрації азимуту, що відповідає максимальному рівню сигналу під час механічного (електромеханічного) обертання (сканування) приймальної антени ССТК або портативного засобу радіоконтролю з вузькою ДН в азимутальній площині. При цьому похибка вимірювання азимуту складає близько половини ширини ДН приймальної антени.

Для визначення пеленгу можуть також застосовуватися будь-які аналізатори спектра, що працюють у контрольованих діапазонах частот, із відповідними направленими антенами. При цьому для попереднього пошуку потрібного випромінювання доцільно використовувати антени з досить широкою ДН в азимутальній площині ( $15^\circ - 25^\circ$ ), а для уточнення напрямку (азимуту) на РЕЗ - антени з вузькою ДН (одиниці градусів), наприклад, антени з рефлектором.

*Несуча частота* контрольованого випромінювання визначається як середня частота ширини займаної смуги частот.

Через надто широку смугу частот радіовипромінювання та малу потужність передавачів радіорелейних станцій (особливо в діапазоні частот понад 3 ГГц) і пов'язаного з цим надто низького рівня сигналу оцінювання ширини займаної смуги частот за критерієм відношення потужностей може давати досить великі похибки, а іноді практичне використання його просто неможливе. Тому вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання передавачів радіорелейних станцій за цим критерієм, як правило, не проводиться.

В цьому випадку для розрахунків середньої (несучої) частоти радіовипромінювання може виконуватися попереднє оцінювання *ширини смуги частот* за критерієм X дБ, наприклад, на рівні мінус 6дБ. При цьому перевірка відповідності цього значення присвоєній ширині займаної смуги частот не проводиться.

В усіх випадках для інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання передавачів радіорелейних станцій можуть застосовуватися аналізатори спектра та направлені вимірювальні антени. При цьому їхній антенно-фідерний тракт повинен бути калібрований.

Приклади спектрограм сигналів передавачів радіорелейних станцій у діапазонах частот 3,8 ГГц і 5,8 ГГц зображені відповідно на рис. 8.45 і рис. 8.46.

## 8.9 Супутниковий зв'язок

### 8.9.1 Загальні відомості про РЕЗ супутникового зв'язку

Системи супутникового зв'язку представляють собою радіорелейні лінії зв'язку з однією проміжною станцією (ретранслятором), розташованою на штучному супутнику зв'язку, і земних станцій супутникового зв'язку як кінцевими станціями лінії [122, 150]. Діапазони радіочастот, які згідно з [4] виділені для систем супутникового зв'язку, наведені в табл. 8.26.

Супутникові системи зв'язкового призначення набули поширеного використання для передавання повідомлень, організації телевізійних, телефонних, телеграфних та інших каналів зв'язку.

Таблиця 8.26 - Діапазони частот, виділені для систем супутникового зв'язку

Умовне позначення діапазону	Смуга частот, ГГц
L	від 1,452 до 1,550 та від 1,610 до 1,670
S	від 1,920 до 2,700
C	від 3,400 до 5,250 та від 5,725 до 7,025
X	від 7,250 до 8,900
Ku	від 10,70 до 12,75 та від 12,75 до 14,80
Ka	від 15,40 до 26,50 та від 27,00 до 30,20
K	від 84,00 до 86,00

Мережі супутникового зв'язку складаються з *наземного* та *супутникового сегментів*. До *наземного сегмента* входять земні станції супутникового зв'язку, до *супутникового* - супутникові станції, що розташовані на космічних апаратах.

Системи супутникового зв'язку поділяються [122] на 6 видів за ознаками використання ними супутників (космічних апаратів), які знаходяться на геостационарних (ГСО) або на негеостационарних орбітах (НГСО), а також за їхнім призначенням, а саме:

- 1) в разі використання супутників на ГСО для:
  - служб фіксованого супутникового зв'язку;
  - рухомої супутникової служби;
  - радіомовної супутникової служби;
- 2) в разі використання супутників на НГСО для:
  - організації приймання - передавання даних і приймання телепрограм;
  - забезпечення рухомого зв'язку;
  - передавання даних низькошвидкісними каналами.

В системах **фіксованої супутникової служби** зв'язок організується між земними станціями, розташованими в певних пунктах, через одну чи декілька супутникових станцій (під певним пунктом мається на увазі визначений фіксований пункт або будь-який фіксований пункт, розміщений у визначеній зоні).

Системи **рухомої супутникової служби** забезпечують зв'язок між рухомими земними станціями та супутниковими станціями, чи між супутниковими станціями, які використовуються цією службою, або між рухомими станціями за допомогою супутникових станцій. Основне призначення систем рухомої супутникової служби -



забезпечення зв'язку з рухомими об'єктами, що переміщуються на великі відстані, наприклад, із суднами та вантажними автомобілями.

Системи **радіомовної супутникової служби** представляють собою системи радіозв'язку, в яких сигнали супутникових ретрансляторів призначені для безпосереднього приймання населенням. При цьому безпосереднім вважається як індивідуальне, так і колективне приймання. Система складається з декількох наземних передавальних станцій, супутникового ретранслятора, мережі приймальних наземних станцій і великої кількості наземних приймальних пристроїв.

Нині найпоширенішого застосування здобули зв'язкові системи фіксованої та радіомовної супутникових служб, які використовують космічні апарати на ГСО.

### 8.9.1.1 Земні станції супутникового зв'язку

Згідно з [19], для земних станцій супутникового зв'язку із застосуванням космічних апаратів на ГСО та на НГСО в Україні виділені такі смуги радіочастот:

- на лінії „вниз” - від 3,4 ГГц до 4,2 ГГц, від 4,5 ГГц до 4,8 ГГц, від 10,7 ГГц до 11,7 ГГц і від 12,50 ГГц до 12,75 ГГц;

- на лінії „вгору” - від 5,725 ГГц до 5,920 ГГц, від 5,925 ГГц до 7,025 ГГц, від 12,75 ГГц до 13,25 ГГц, від 13,75 ГГц до 14,50 ГГц і від 17,3 ГГц до 18,1 ГГц;

- для РЕЗ рухомого сухопутного зв'язку (радіотелефони супутникового персонального зв'язку) - від 2,485 ГГц до 2,500 ГГц (на бездозвільній основі для супутникових станцій системи Globalstar на лінії „космос-Земля” на середньоеліптичних орбітах);

- для РЕЗ супутникового зв'язку з використанням рухомих повітряних земних станцій (системи „Connecting by Boeing” на лінії „космос-Земля” на висотах не нижче 3 км) - від 14,0 ГГц до 14,5 ГГц;

- для систем супутникового радіомовлення - від 11,7 ГГц до 12,5 ГГц (на бездозвільній основі).

Згідно з [4] в діапазоні частот до 40 ГГц для **станцій фіксованого супутникового зв'язку** в Районі 1 (на лінії „вгору”) виділені смуги частот: від 5,725 ГГц до 7,075 ГГц; від 7,9 ГГц до 8,4 ГГц; від 10,7 ГГц до 11,7 ГГц; від 12,20 ГГц до 13,25 ГГц; від 13,75 ГГц до 14,50 ГГц; від 17,3 ГГц до 18,1 ГГц; від 27,5 ГГц до 31,0 ГГц.

До категорії земних станцій фіксованого супутникового зв'язку відносяться такі різновиди земних станцій [187]:

- магістральні земні станції;
- земні станції супутникового зв'язку з малою апертурою антен типу VSAT (Very Small Aperture Terminal).

Такий розподіл зумовлений тим, що лише обмежений клас станцій супутникового зв'язку може бути віднесений до станцій типу VSAT, тому що параметри станцій такого класу строго визначені європейськими стандартами ETSI та рішеннями, ухваленими СЕРТ, а також наведені в Рекомендації ITU-R S.725 [160]. У широкому розумінні під терміналами VSAT маються на увазі не лише приймально-передавальні, а й приймальні станції [187].

Магістральні земні станції забезпечують формування багатоканальних ліній зв'язку між центральними та периферійними автоматичними телефонними станціями і працюють з визначеними багатоствольними геостационарними супутниками.

Магістральні земні станції мають досить велику вихідну потужність (до 3 кВт) і антени з великими габаритними розмірами (діаметром від 2 м у діапазоні Ku до 18 м у діапазоні C).

Станції типу VSAT або так звані „малі” станції набули поширеного використання в корпоративних супутникових мережах на базі космічних апаратів на ГСО. Умовна схема організації мережі фіксованого супутникового зв'язку з використанням таких станцій представлена на рис. 8.47.



Рис. 8.47. Організація мережі фіксованого супутникового зв'язку із станціями типу VSAT за топологією „зірка”

До складу мережі входять:

- центральна земна станція;
- термінальні станції типу VSAT;
- станція супутникового зв'язку на ГСО.

Нині серед радіотехнологій VSAT існують 2 різновиди їхніх мереж:

- мережі VSAT на базі використання традиційних повнофункціональних станцій (складають до (15 - 20) % від загальної кількості станцій);
- інтерактивні мережі VSAT (складають до (80 - 85) % від загальної кількості станцій), основу яких становлять радіотехнології цифрового телевізійного мовлення зі зворотним супутниковим каналом (типу DVB-RCS, Digital Video Broadcast - Return Channel through Satellite), які орієнтовані на передавання даних (що можуть не відповідати обов'язково положенням стандарту EN 301 790 [161]).

Супутникові мережі на базі повнофункціональних станцій типу VSAT реалізуються як у топології „кожен із кожним”, так і в топології „зірка” і використовують як спосіб частотного (FDMA) розділення каналів (на лінії „вгору”), так і часового (TDMA/DAMA) розділення каналів (на лінії „вниз”).

Для всіх класів земних станцій визначені загальні методи модуляції -BPSK, QPSK, 8PSK. Як метод багатостанційного доступу в системах супутникового зв'язку, які використовують космічні апарати на ГСО, найчастіше застосовується метод FDMA,

Розроблений ETSI стандарт [161] визначає для станцій типу VSAT на виключній основі такі смуги частот в діапазоні Ku:

- від 14,00 ГГц до 14,25 ГГц на лінії „вгору”;
- від 12,50 ГГц до 12,75 ГГц на лінії „вниз”.

Але на спільній основі з фіксованою службою допускається використання для станцій типу VSAT смуг частот від 14,25 ГГц до 14,5 ГГц на лінії „вгору” і від 10,7 ГГц до 11,7 ГГц на лінії „вниз”. Крім того, земні станції типу VSAT можуть

працювати також у діапазоні С (6/4 ГГц) і діапазоні Ка (31/18 ГГц). Вимоги до технічних параметрів і характеристик цих станцій зазначені в [160, 162-164], а в [165] визначені вимоги до контролю роботи та моніторингу земних станцій типу VSAT.

Згідно з рішенням ERC/DEC(00)05, визнані для Району 1 суттєві параметри земних станцій типу VSAT повинні відповідати таким вимогам:

- максимальна потужність передавача - 2 Вт;
- максимальний розмір апертури антени - 3,8 м;
- максимальне значення ефективної ізотропної випромінюваної потужності (*е. і. в. п.*) - 50 дБВт.

До основних особливостей організації зв'язку земних станцій фіксованого супутникового зв'язку треба віднести:

1) вузькі ДН АС у горизонтальній та вертикальній площинах, зокрема, максимальна ширина їхньої головної пелюстки ДН складає:

- у діапазоні С - до 2,9° на приймання та до 1,9° на передавання;
- у діапазоні Ки - до 1,0° на приймання та до 0,8° на передавання;

2) відсторонення головної пелюстки ДН АС від поверхні Землі (зазвичай, мінімальний робочий кут місця антени більший 5°);

3) розташування антен, як правило, на дахах будівель;

4) низький рівень бічних пелюсток ДН (до мінус 20 дБ - мінус 23 дБ) і задніх пелюсток ДН АС.

До низки відмічених особливостей треба також віднести наявність як прямого (на передавання, лінія „вгору“), так і зворотного (на приймання, лінія „вниз“) каналів зв'язку. Відмічені раніше особливості стосуються лише лінії передавання „вгору“.

До основних особливостей технічних параметрів радіосигналів земних станцій супутникового зв'язку треба віднести:

- 1) обмежені смуги робочих частот земних станцій (лінія „вгору“):
- від 10,7 ГГц до 11,7 ГГц, від 14,0 ГГц до 14,5 ГГц, від 5,8 ГГц до 6,5 ГГц - для станцій типу VSAT;
  - діапазони 6 ГГц і 13 ГГц - для інших земних станцій фіксованої супутникової служби;

2) низькі рівні вихідної потужності передавачів станцій типу VSAT (не більше 2 Вт);

3) використання різних робочих частот для передавання та приймання;

4) використання в різних мережах різних типів поляризації: лінійної (горизонтальної, вертикальної), кругової.

До категорії *земних станцій радіомовної супутникової служби* належить найбільша кількість земних станцій супутникового зв'язку. Земні станції радіомовної супутникової служби призначені для безпосереднього приймання від станцій супутникового зв'язку сигналів зображення, звукового супроводу з подальшим перетворенням їх до стандартів, прийнятих у наземному мовленні, а також наступного розподілу цих сигналів абонентам мережі мовлення. Безпосереднє супутникове мовлення ведеться, як правило, із супутників, розташованих на ГСО. Використовуються дві структури організації таких мереж: мережі прямого мовлення (Direct TV, Direct to Home) і розподільчі мережі (Primary Distribution). До

першої структури відносяться індивідуальні та колективні станції, до другої - розподільчі станції.

До особливостей організації зв'язку в мережах радіомовної супутникової служби треба віднести те, що практично переважна більшість наземних РЕЗ радіомовної супутникової служби працюють у пасивному режимі (на приймання), в зв'язку з чим вони в даному підрозділі не розглядаються.

Системи *рухомої супутникової служби* в межах зони обслуговування супутника забезпечують зв'язок із рухомими абонентами в масштабі реального часу.

Найпопулярніші системи рухомого супутникового зв'язку - це Inmarsat, Euteltracs, Prodat, Iridium та Globalstar [122].

Наземний сегмент системи **Inmarsat** складається з берегових і координуючих станцій, експлуатаційного контрольного центру, а також абонентських станцій морського, авіаційного та наземного виконання. Берегові станції забезпечують зв'язок між супутниковими станціями системи Inmarsat і абонентами, в тому числі, міжнародними та національними телефонними й телеграфними мережами. Рухомі абоненти системи Inmarsat можуть зв'язуватися один з одним лише через берегову станцію.

Система **Euteltracs** забезпечує передавання групових та індивідуальних (у тому числі, аварійних і термінових) повідомлень і використовується в Європі. До складу наземного сегмента Euteltracs входять: центральна станція, станція маршрутизації, супутникові диспетчерські пункти та мобільні зв'язкові термінали (МСТ, Mobile Communication Terminal). Вихідна потужність передавача мобільного терміналу становить 1 Вт. Частота випромінювання з шириною смуги сигналу 1 МГц стрибкоподібно перестроюється в смузі частот 48 МГц.

Система **Prodat** (розробка Європейської космічної агенції) забезпечує зв'язок (передавання даних) виключно із сухопутними транспортними засобами. Система Prodat використовує два діапазони частот: діапазон С (4,2 ГГц для приймання та 6,4 ГГц для передавання даних) для зв'язку з центральною станцією та діапазон L (від 1631,5 МГц до 1660,5 МГц на лінії „вгору” та від 1530 МГц до 1559 МГц на лінії „вниз”) для зв'язку між мобільними терміналами.

До систем рухомої супутникової служби також належать системи персонального супутникового радіозв'язку, основним завданням яких є надання доступу до мережі Internet і широкосмугових мереж, а також передавання мови. Найвідоміші серед них такі:

-система **Iridium**, яка забезпечує надання стандартного набору послуг телефонного зв'язку: голосового зв'язку, передавання факсимільних і пейджингових повідомлень, повідомлень SMS тощо;

-система **Globalstar**, яка забезпечує надання такого ж набору послуг, що й система Iridium і для організації зв'язку якій в Україні виділені смуги частот від 1610 МГц до 1621,35 МГц на лінії „вгору” та від 2483,5 МГц до 2500 МГц на лінії „вниз”;

-система **NewICO**, для якої виділені смуги частот від 1980 МГц до 2010 МГц на лінії „вгору” та від 2170 МГц до 2200 МГц на лінії „вниз”.

Супутникові сегменти зазначених систем складаються із супутникових станцій, розташованих на космічних апаратах на низькоеліптичних орбітах або ГСО. Наприклад, супутникове угруповання системи **Iridium** складається з 66 основних і 6 додаткових супутникових станцій, угруповання системи **Globalstar** - із 48

супутникових станцій, розташованих на низькоеліптичних (LEO, Low Elliptic Orbit) орбітах (на висоті 780 км). Супутниковий сегмент системи **Inmarsat** представлений трьома супутниковими станціями на ГСО.

Наземні сегменти систем Globalstar і Iridium представлені однією (для кожної із систем) центральною (координуючою) станцією мережі (ЦСМ), станціями зв'язування (для системи Iridium - дві станції) та абонентськими терміналами (стілниковими телефонами, портативними чи мобільними терміналами, встановленими на наземних водних або повітряних об'єктах і стаціонарними абонентськими терміналами встановленими на стаціонарних об'єктах).

Розподіл робочих смуг частот системи Iridium наведений у табл. 8.27

Таблиця 8.27 - Робочі смуги радіочастот системи Iridium

Напрямок зв'язку	Смуга радіочастот
Супутник системи Iridium – супутниковий телефон (пейджер)	від 1616 МГц до 1626,5 МГц
Міжсупутниковий зв'язок	від 23,18 ГГц до 23,88 ГГц
Наземна станція зв'язування – супутники системи Iridium	від 29,1 ГГц до 29,3 ГГц
Супутник системи Iridium – наземна станція зв'язування	від 19,4 ГГц до 19,6 ГГц

Схема організації зв'язку в системах Inmarsat, Globalstar і Iridium наведена на рис. 8.48.

В Україні для системи Iridium виділена смуга частот від 1621,35 МГц до 1626,50 МГц.

Система Inmarsat працює в діапазонах частот:

- 1,6 ГГц - абонентська радіолінія;
- 6,4/3,6 ГГц- фідерна радіолінія (лінія „вгору” / лінія „вниз”). Радіочастотний ресурс системи Globalstar у діапазонах L/S у режимі

частотного дуплексу складається з двох смуг частот по 16,5 МГц, кожна з яких розподіляється на 13 окремих смуг по 1,25 МГц.

У системі Globalstar використовується метод множинного доступу CDMA, в системах **NewICO** та **ICO** - метод TDMA.



Рис. 8.48. Схема організації зв'язку в системах Inmarsat, Globalstar та Iridium

Під супутниковою станцією мається на увазі ретранслятор, розміщений на штучному супутнику Землі. За способом ретрансляції сигналу супутникові системи

розділяються на системи з активною та пасивною ретрансляцією. Класифікація супутникових систем за їхнім призначенням і формою орбіти космічного апарату наведена вище.

Особливості застосування супутникових станцій зумовлені їхнім знаходженням на великій відстані від поверхні Землі. В залежності від форми орбіти супутники поділяються на:

- супутники на ГСО - з відстанню від Землі близько 36 тис. км;
- супутники на високоеліптичних орбітах (HEO, High Elliptic Orbit) - з висотою близько 40 тис. км в апогеї та близько 2 тис. км у перигеї;
- супутники на середньоеліптичних орбітах (Medium Elliptic Orbit, MEO) з радіусом орбіти від 5 тис. км до 20 тис. км;
- супутники на низькоеліптичних орбітах (Low Elliptic Orbit, LEO) з радіусом орбіти від 500 км до 2 тис. км.

Фіксована супутникова служба використовує штучні супутники Землі, розташовані як на ГСО, так і на високоеліптичних орбітах. У радіомовній супутниковій службі передбачено розташування штучних супутників Землі лише на ГСО, в рухомій супутниковій службі - на ГСО, середньоеліптичних (MEO) та низькоеліптичних (LEO) орбітах.

В залежності від кута нахилу  $i$  орбіти вони також розділяються на екваторіальні ( $i = 0^\circ$ ), полярні ( $i = 90^\circ$ ) і нахилені ( $0^\circ < i < 90^\circ$ ). На останніх знаходиться переважна частина штучних супутників Землі, які обслуговують територію України. В зв'язку з цим радіус наземної зони радіопокриття, яка створюється однією супутниковою станцією, може досягати тисяч кілометрів. Наприклад, зона радіопокриття супутникової станції розташованої на космічному апараті на ГСО охоплює майже третину поверхні Землі. Для висоти кругової орбіти системи Globalstar рівної 1400 км і кута радіо-видимості  $20^\circ$  радіус зони покриття („плями" радіодоступу) досягає 3000 км. Ширина зони покриття однієї супутникової станції системи Iridium досягає 4000 км. У разі використання багатопромених супутникових антен радіус зони радіопокриття зменшується до декількох сотень кілометрів.

Смуги частот, що виділені для Району 1 радіомовній супутниковій службі [4], наведені в табл. 8.28.

Для фіксованої супутникової служби (на лінії „вниз") виділені окремі смуги частот у діапазонах 2,5 ГГц, 4,0 ГГц, 7,5 ГГц, (10,7 - 11,7) ГГц, 12,5 ГГц, (17,7 - 21,2) ГГц і (37,5 - 40,5) ГГц.

Обмеження, що накладаються на супутникові станції, стосуються перш за все максимального рівня ефективної ізотропно випромінюваної потужності (*e.i.v.n.*), яка для сучасних супутникових систем зв'язку в діапазонах L/S повинна бути не більшою:

- (30 - 45) дБВт для супутникових станцій на ГСО;
- (20 - 35) дБВт для супутникових станцій на МЕО;
- (5 - 25) дБВт для супутникових станцій на ЛЕО.

Таблиця 8.28 - Смуги частот, виділені для радіомовної супутникової служби

Смуга частот, ГГц	Примітки	Сумісні радіослужби
Від 0,62 до 0,79	При обмеженні щільності потоку потужності (ЩПП) за узгодженням між Адміністраціями зв'язку	Радіомовна служба Радіонавігаційна служба (на дозвільній основі)
Від 2,50 до 2,69	Для національних та регіональних систем при обмеженні ЩПП за узгодженням між Адміністраціями зв'язку	Фіксована служба Рухома служба Радіоастрономічна служба (у смузі від 2,655 ГГц до 2,69 ГГц)
Від 11,7 до 12,5	За планом	Фіксована супутникова служба (у смугах від 11,7 ГГц до 12,75 ГГц та від 12,5 ГГц до 12,75 ГГц) Рухома служба (у смузі від 12,1 ГГц до 12,75 ГГц) Радіомовна служба (у смузі від 11,7 ГГц до 12,5 ГГц)
Від 40,5 до 42,5	-	Радіомовна служба на дозвільній основі
Від 84,0 до 86,0	-	Фіксована служба Рухома служба Радіомовна служба

Потужність передавача супутникової станції на середньоеліптичних і низькоеліптичних орбітах повинна бути не більшою:

- 60 Вт у діапазоні L;
- 20 Вт у діапазоні С;
- (5 - 10) Вт у діапазоні Ku.

До основних особливостей технічних параметрів випромінювань передавачів супутникових станцій необхідно віднести:

- 1) різні частоти передавання та приймання;
- 2) зміна радіочастоти, що приймається, зумовлена ефектом доплерівського зсуву частоти (особливо для супутникових станцій, розташованих на ГСО);
- 3) низька щільність потоку потужності в земному пункті приймання, зумовлена значною відстанню до штучного супутника Землі (а, тому, значною площею зони радіопокриття) і малою потужністю радіовипромінювання;
- 4) обмеження ефективної ізотропно випромінюваної потужності;
- 5) використання кругової поляризації сигналів передавання та приймання.

#### 8.9.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання станцій супутникового зв'язку та його організації

Принципові завдання, які повинні виконувати комплекси (станції) радіомоніторингу для супутникових радіослужб, суттєво не відрізняються від завдань, що виконують станції радіомоніторингу для наземних радіослужб.

Основні особливості радіомоніторингу супутникових станцій обумовлені наведеними раніше особливостями розподілу частотно-орбітального ресурсу для супутникових радіослужб, а також тим, що передавачі, випромінювання яких контролюються, розташовані на борту космічних апаратів. При цьому, якщо штучний супутник Землі знаходиться на ГСО, то його позиція (місцезнаходження) залишається незмінною, в інших випадках (у разі розташування штучного супутника Землі на низьких або ексцентричних орбітах) - змінюється з часом.

Стосовно питань проведення моніторингу у смугах радіочастот роботи

супутникових станцій треба мати на увазі, що порівняно проста реалізація процедури виявлення ДРВ (у вигляді передавача, розташованого на штучному супутнику Землі) наштовхується на значну складність (практично - на неможливість) усунення впливу радіовипромінювань супутникових станцій на наземні РЕЗ. Необхідно також урахувати, що всі радіовипромінювання, які спостерігаються на території України, зумовлені роботою передавачів на штучних супутниках Землі, що Україні не належать. Тому, в разі виявлення радіозавад від супутникових станцій, існують два способи усунення їхнього впливу на земні станції супутникового зв'язку та радіорелейні станції:

- зміна частотного плану для власних наземних РЕЗ;
- виявлення земних станцій, радіовипромінювання яких, що ретранслюються супутниковими ретрансляторами, є радіозавадами для наземних РЕЗ.

Таким чином, основною метою радіомоніторингу випромінювання супутникових станцій є виявлення радіозавад від них для наземних РЕЗ і визначення місцезнаходження земних станцій, які є джерелом цих радіозавад.

Деякі пропозиції щодо організації радіомоніторингу випромінювання супутникових станцій наведені в [1, 9, 16].

Моніторинг радіовипромінювання у смугах частот, виділених для систем супутникового зв'язку на лінії „вниз” проводиться за потреби:

- визначення реального стану використання РЧР у певних смугах частот, які виділені для роботи систем фіксованого та супутникового радіозв'язку;
- виявлення ДРВ, які є радіозавадами для наземних РЕЗ користувачів РЧР (за їхніми заявами щодо наявності радіозавад у певних смугах частот);
- участі в міжнародних заходах із радіомоніторингу.

Основні чинники, що зумовлюють необхідність застосування інших методів радіомоніторингу, спостереження та вимірювання параметрів радіовипромінювання супутникових станцій порівняно з методами моніторингу спектра у смугах роботи фіксованих або рухомих радіостанцій, що розташовані на земній поверхні або поблизу неї, такі:

- зазвичай малі значення щільності потоку потужності сигналів у земному пункті їхнього приймання, зумовлені великою відстанню та малою потужністю передавача;
- постійна зміна напрямку надходження сигналів від супутникових станцій та відносно короткий час, протягом якого сигнал від супутникової станції, розташованої на НГСО, приймається у фіксованому пункті;
- висока щільність розташування супутникових станцій на ГСО: в діапазоні орбітальних позиції  $100^\circ$  розташовано більше 120 супутників цвільного призначення.

Нині існують два підходи до вирішення питання моніторингу РЧР у мережах фіксованого супутникового зв'язку.

Перший базується безпосередньо на використанні можливостей системи управління земними станціями фіксованого супутникового зв'язку типу VSAT, що реалізується відповідно до вимог Рекомендації ІТУ-Р S.729 [165]. В цьому випадку в інтересах захисту напрямку „космос-Земля” контроль за стволами ретрансляції може бути покладений на центральну станцію мережі, до якої можуть бути висунуті деякі спеціальні вимоги стосовно технічних параметрів та оснащення контрольно-вимірювальним обладнанням.



Другий підхід орієнтований на створення автономної наземної системи моніторингу радіовипромінювання супутникових мереж, організація якої ґрунтується на застосуванні принципу просторої та частотної селекції радіо-випромінювань, які надходять від супутникових станцій, розташованих на різних орбітальних позиціях (із різними кутами нахилу їхніх орбіт). Практична реалізація системи можлива за рахунок використання кількох наземних станцій, ДН АС (промені) яких зорієнтовані під певними кутами місця та азимутами, як це відображено на рис. 8.49.

Враховуючи відносно незначні розміри території України, для організації радіомоніторингу випромінювання супутникових станцій достатньо створення системи супутникового моніторингу, що складається з однієї спеціалізованої центральної стаціонарної станції радіомоніторингу та двох-трьох спеціалізованих мобільних комплексів радіомоніторингу (застосування стаціонарних периферійних станцій радіомоніторингу вважається недоцільним). Необхідність застосування спеціалізованих мобільних комплексів супутникового моніторингу зумовлена потребою вирішення питань виявлення радіозавад і проведення радіомоніторингу безпосередньо в місцях розташування земних станцій супутникового зв'язку.

Існують два варіанти вирішення структури станції супутникового моніторингу. Перший ґрунтується на використанні АС із вузькою ДН, яка здатна змінювати положення своєї головної пелюстки в азимутальній та

кутомірній площинах (рис. 8.50). Другий - на застосуванні АС зі складною конструкцією внаслідок використання одного рефлектора з кількома опромінювачами, кожен із яких забезпечував би приймання радіовипромінювання з певного напрямку (рис. 8.51).

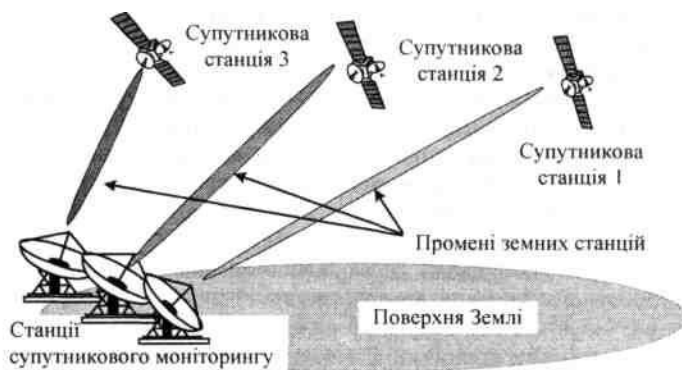


Рис. 8.49. Методи радіомоніторингу випромінювання супутникових станцій

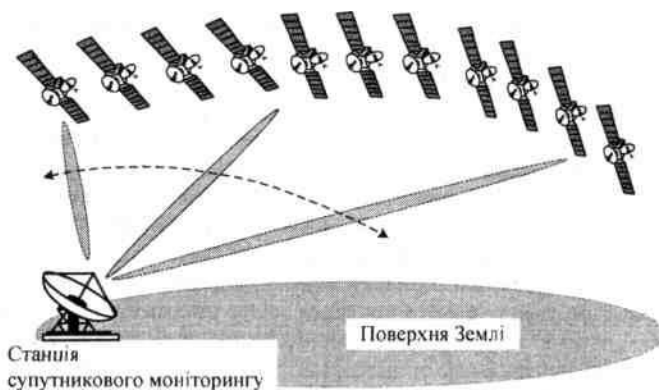


Рис. 8.50. Принцип сканування супутникових станцій (варіант 1)

Для формування вимог до структури та технічних параметрів станції супутникового моніторингу спочатку потрібно відмітити основні особливості моніторингу радіовипромінювань у смугах частот роботи станцій супутникового зв'язку на лінії „вниз“.

-1. На географічній довготі м. Києва спостерігаються радіовипромінювання станцій, розташованих на супутниках, що знаходяться на ГСО на

орбітальних позиціях від 20W (20° західної довготи) до 80E (80° східної довготи). Відносно географічних координат м. Києва зазначені орбітальні позиції відповідають:

-20W - азимуту 225° і куту місця 8°;

-20E - азимуту 135° і куту місця 8°.

Станція супутникового моніторингу

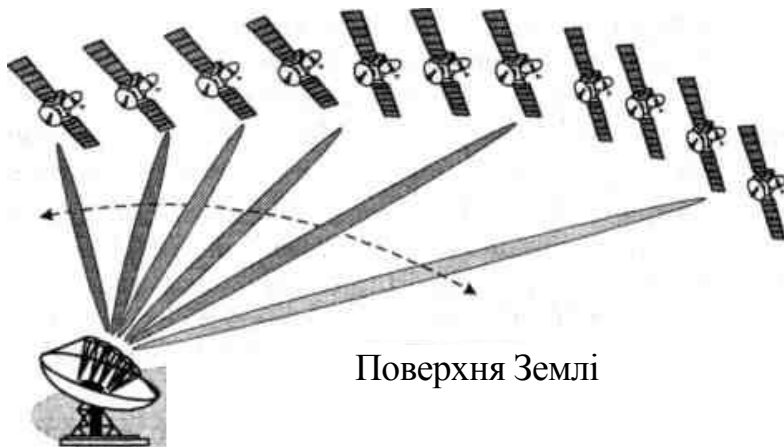


Рис. 8.51. Принцип сканування супутникових станцій (варіант 2)

2. У зазначеному діапазоні орбітальних позицій розташовано понад 120 супутникових станцій, які працюють переважно в діапазонах частот C та Ku (питання радіомоніторингу випромінювання супутникових станцій військового призначення, які працюють в діапазоні частот Ka, не розглядаються).

3. Переважна більшість супутникових станцій, які працюють у діапазонах частот C та Ku, відносяться до радіомовної супутникової, фіксованої супутникової та рухомої супутникової радіослужб. Найбільшу увагу органів регулювання використання РЧР, безумовно, привертають станції супутникового зв'язку, які відносяться до фіксованої супутникової та радіослужби. З відомих причин найбільшим попитом серед операторів систем фіксованого супутникового зв'язку користуються супутникові станції, розташовані на супутниках з орбітальними позиціями близько 40E - 50E до 10W - 20W.

Виходячи з цього, спеціалізовані станції супутникового радіомоніторингу повинні відповідати таким вимогам:

- 1) забезпечувати радіомоніторинг в діапазонах частот C та Ku;
- 2) мати приймальні антени з шириною головної пелюстки ДН до  $0,5^\circ$ ;
- 3) забезпечувати зміну азимутального положення головної пелюстки ДН антени в діапазоні значень азимуту від  $130^\circ$  до  $230^\circ$ ;
- 4) забезпечувати зміну положення головної пелюстки ДН антени в діапазоні значень кута місця від  $6^\circ$  (під азимутами  $136^\circ$  і  $225^\circ$ ) до  $40^\circ$  (під азимутом  $180^\circ$ ).

### **8.9.3 Особливості організації радіомоніторингу випромінювання земних станцій фіксованого супутникового зв'язку**

Безумовно, найбільшу увагу органів радіочастотного моніторингу привертають питання забезпечення радіомоніторингу випромінювання в смугах частот роботи земних станцій фіксованого супутникового зв'язку типу VSAT. Але відмічені раніше особливості організації зв'язку та технічних параметрів цих станцій значно утруднюють моніторинг їхнього випромінювання стаціонарними та мобільними засобами радіомоніторингу. Ситуація ускладнюється через те, що максимум направленості головної пелюстки ДН антен земних станцій супутникового зв'язку типу VSAT спрямований під деяким кутом до поверхні Землі. Крім того, внаслідок низької вихідної потужності передавачів цих станцій (до 2 Вт) виявлення їхнього радіовипромінювання наземними засобами радіомоніторингу утруднюється додатково.

Для проведення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання станцій типу VSAT можуть залучатися спеціалізовані станції технічного радіоконтролю та портативні засоби.

В першому випадку технічні засоби радіоконтролю розташовують у місці, де за заявою користувача РЧР спостерігаються радіозавади, і проводять пошук радіовипромінювань. В разі виявлення радіозавад на певних частотах проводяться заходи щодо визначення напрямку (азимуту) на їхнє джерело та його місцезнаходження. Місцезнаходження станції типу VSAT може визначатися також шляхом візуалізації розташування її антени. За умови можливого проведення технічного радіоконтролю здійснюється інструментальне оцінювання параметрів

радіовипромінювання станції.

Під час виконання планових завдань технічного радіоконтролю портативні засоби радіоконтролю розташовують у визначених місцях і здійснюють пошук радіовипромінювань. У випадку виявлення випромінювань на певних частотах (у певних смугах частот) проводяться заходи аналогічні раніше зазначеним.

В разі встановлення факту несанкціонованої роботи станції типу VSAT іншими методами (наприклад, шляхом візуалізації наявності антени відповідного розміру та направленості) візуально визначається напрямок головної пелюстки ДН її антени. В цьому напрямку розташовують засоби технічного радіоконтролю та фіксують наявність роботи РЕЗ. За необхідності проводять також вимірювання (інструментальне оцінювання) технічних параметрів радіовипромінювання. В подальшому здійснюються організаційні заходи стосовно припинення незаконної роботи цієї станції.

Технічний радіоконтроль під час уведення певної земної станції типу VSAT в експлуатацію проводиться з метою експериментальної перевірки результатів розрахунків умов (висновків) ЕМС і отримання „електронного паспорта” цієї станції. Для реалізації завдань радіоконтролю технічні засоби його проведення послідовно розташовують на кількох визначених позиціях біля контрольованої станції, в яких проводять вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів сигналу, що приймається, на певних частотах (створюється „електронний паспорт” станції). Наявність такого „паспорта” дозволяє в подальшому спростити процедуру перевірки відповідності параметрів радіовипромінювання певної станції типу VSAT зазначеним у ліцензії шляхом оцінювання рівнів сигналу на тих самих позиціях.

Визначення місцезнаходження земних станцій супутникового зв'язку може бути реалізовано непрямыми методами, які ґрунтуються на застосуванні можливостей системи супутникового моніторингу, розглянутої раніше.

Принцип геолокації (визначення місцезнаходження) земних станцій супутникового зв'язку ґрунтується на аналізі сигналів, які випромінюються певною земною станцією, ретранслюються супутниковими ретрансляторами та приймаються станцією супутникового радіомоніторингу. При цьому вимірюються значення часу затримки сигналів ( $t_{i1}$  та  $t_{i2}$ ) двох ретрансляторів, що розташовані неподалік один від одного, і будуються дві лінії на поверхні Землі (так звані „ефемериди”), які відповідають вимірним значенням затримки сигналів  $t_{i1}$  та  $t_{i2}$  (рис. 8.52).

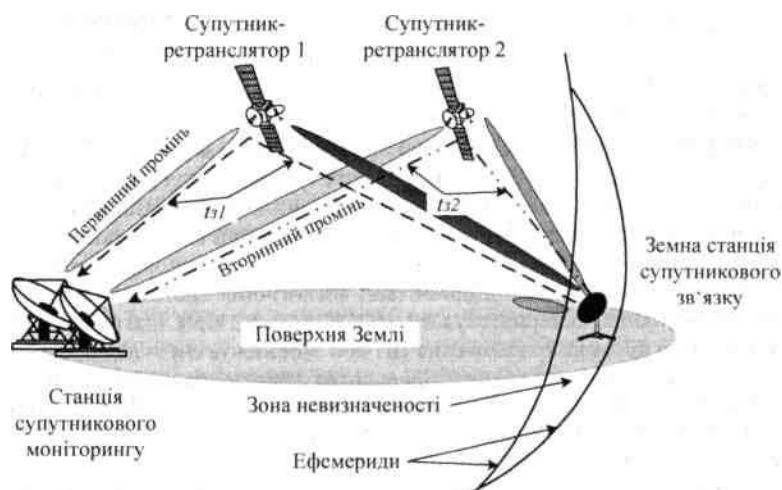


Рис. 8.52. Принцип геолокації земних станцій супутникового зв'язку

За результатами одноразового вимірювання розміри зони невизначеності (можливого розташування) земної станції можуть досягати кількох тисяч кілометрів у напрямку „південь - північ" і (10 - 15) км у напрямку „захід - схід". Підвищення точності визначення місцезнаходження земної станції супутникового зв'язку досягається за рахунок проведення декількох вимірювань. При цьому потенційна точність визначення місцезнаходження земної станції може досягати (0,5 - 1) км. Для калібрування системи геолокації земних станцій проводиться періодичне оцінювання часу затримки сигналів, які випромінюються певною земною станцією (reference station) з відомими географічними координатами (рис. 8.53).

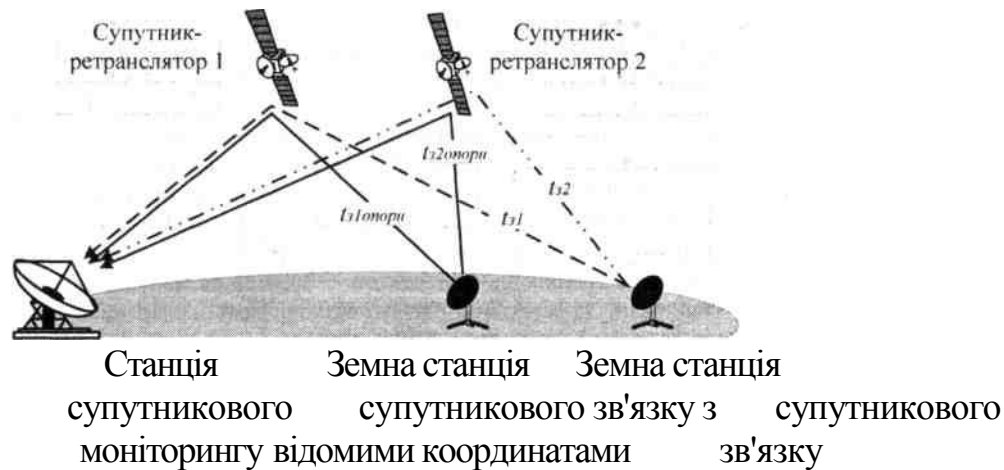


Рис. 8.53. Принцип калібрування системи геолокації земних станцій

Можливі два варіанти вирішення організації систем геолокації: перший ґрунтується на застосуванні АС, яка забезпечує зміну положення головної пелюстки ДН за рахунок механічного обертання антени в азимутальній та кутомірній площинах, другий - на застосуванні антени, яка забезпечує огляд простору в обох площинах за рахунок використання багатопроменевої ДН. При цьому, як свідчить досвід організації аналогічних систем в Європі, для геолокації необхідно використовувати дві АС, кожна з яких здатна змінювати азимутальне та кутомірне положення ДН або забезпечувати огляд простору в обох площинах за рахунок використання антен з багатопроменими ДН.

Загальна структурна схема станції супутникового радіо моніторингу, яка забезпечує геолокацію земних станцій супутникового зв'язку, наведена на рис. 8.54.

В загальному випадку структура реалізації такої станції передбачає наявність таких основних елементів:

- антена супутникового радіомоніторингу;
- антена геолокації;
- комутатори (Switch);
- цифровий сигнальний процесор (Digital Signal Processor, DSP);
- аналізатор спектра;
- сервер з базою даних (БД) обліку адміністративних і технічних даних станцій супутникового радіомоніторингу;
- АРМ управління та оброблення інформації.

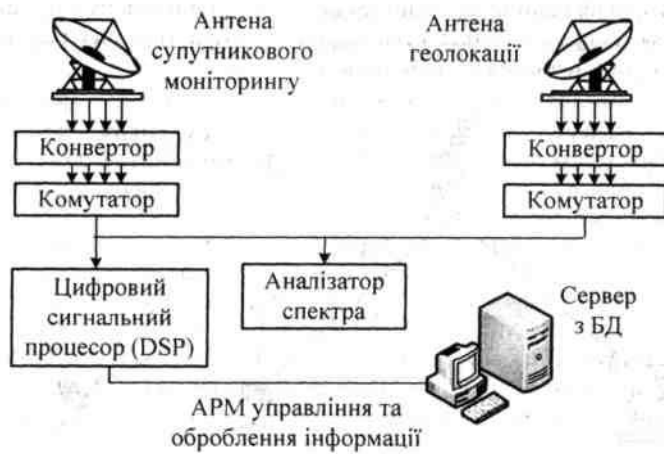


Рис. 8.54. Структурна схема станції геолокації земних станцій супутникового зв'язку

Комутатори забезпечують комутацію вихідних сигналів АС різних діапазонів частот (С та Ku) з різною поляризацією (вертикальною та горизонтальною).

Конвертори забезпечують перетворення прийнятих радіочастотних сигналів шляхом перенесення їхніх спектрів із діапазону частот С (або Ku) в діапазон L.

Цифровий сигнальний процесор виконує основне оброблення прийнятих сигналів і розраховує географічні координати місцезнаходження земних станцій супутникового зв'язку. Ідентифікація прийнятих випромінювань певної земної станції, які ретрансльовані різними супутниковими ретранслятор-рами, здійснюється шляхом їх кореляційного оброблення.

Аналізатор спектра призначений для візуалізації прийнятого радіовипромінювання (загалом може бути використаний будь-який аналізатор спектра з верхньою межею смуги робочих частот не меншою за 3 ГГц).

## 8.10 Системи безпроводового телефонного зв'язку

Системи безпроводової телефонії призначені для забезпечення безпроводового зв'язку в мікростільниках і представлені як аналоговими (СТ-1), так і цифровими (СТ-2, DECT, PHS, PACS, PWT, WDCT) стандартами зв'язку.

Принцип роботи системи безпроводового телефонного зв'язку стандарту СТ-1 (Cordless Telephony-1) ґрунтується на застосуванні методу частотного розділення каналів FDMA з дуплексним рознесенням каналів приймання та передавання (TDD). Для системи СТ-1 виділена смуга частот від 825 МГц до 837 МГц, яка має десять частотних каналів. Ширина смуги одного каналу становить 50 кГц. Загальна кількість дуплексних каналів - 40. Для організації зв'язку використовуються індивідуальні базові станції. У модифікованому стандарті СТ-1+ використовується подвоєна кількість дуплексних каналів - 80. Зв'язок між абонентським терміналом і базовою станцією забезпечується за спеціальним ідентифікаційним кодом. Дальність зв'язку - не більше 200 м. Основний недолік систем стандартів СТ-1 та СТ-1+ - це відсутність будь-якого захисту зв'язку.

В Україні для системи стандарту СТ-1 виділені смуги частот (814 — 815) МГц/(904 - 905) МГц, а для систем інших стандартів аналогової безпроводової телефонії - смуги частот від 149 МГц до 150 МГц, від 162,75 МГц до 163,20 МГц, від 168,5 МГц до 174,0 МГц, від 299,6 МГц до 300,0 МГц, від 308 МГц до 312 МГц, від

335,4 МГц до 336,0 МГц, від 336,525 МГц до 337,125 МГц, від 341,825 МГц до 343,0375 МГц та від 344 МГц до 344,4 МГц.

Системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту **СТ-2** призначені для надання послуг зв'язку та передавання даних. Нині в Європі прийнятий єдиний радіоінтерфейс СТ-2, який отримав назву CAI (Common Air Interface). Протоколи CAI, прийняті ETSI, отримали назву ETS-300 131. Основою стандарту СТ-2 є специфікація MPT 1375. Цей стандарт забезпечує ефективніше використання смуги частот, взаємодію з цифровими мережами з інтеграцією служб (ISDN, Integrated Services Digital Network), конфіденційність зв'язку та кращу, ніж у системи стандарту СТ-1, якість передавання повідомлень, а також можливість естафетного передавання абонента від однієї базової станції до іншої. Для роботи системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту СТ-2 (СТ-2+) виділена смуга частот від 864,1 МГц до 868,1 МГц, в якій розподілено 40 частотних каналів із шириною смуги частот кожного каналу 100 кГц і з номіналами несучих частот, які розраховуються (в мегагерцах) за формулою

$$f_n = 864,2 + 0,1 N, \quad (8.26)$$

де  $N = 0, \dots, 39$ .

Швидкість модуляції в каналі становить 72 кбод.

В стандарті СТ-2 застосовується метод FDMA з часовим дуплексом із розділенням каналів приймання та передавання (TDD), за якого протягом одного часового інтервалу передається пакет повідомлень від абонента, а на протягом наступного - приймання пакету повідомлень для цього абонента від базової станції. Для модуляції сигналів використовується бінарна гаусівська частотна модуляція (GFSK). Структура кадрів фізичного рівня в стандарті СТ-2 зображена на рис. 8.55.

Часовий дуплекс реалізується шляхом розділення за часом передавання сигналів у каналі „вниз” (від базової до абонентських станцій) та „вгору” (у зворотному напрямку): спочатку протягом інтервалу 0,9174 мс здійснюється передавання базової станції (B→A), потім протягом такого ж інтервалу - абонентської (A→B). Для розділення дуплексних каналів використовується

захисний інтервал тривалістю 49 мкс (3,5 біти) або 79 мс (5,5 бітів). Тривалість елементарного символу в каналі стандарту СТ-2 становить 0,0139 мкс.



Рис. 8.55. Структура кадрів у стандарті СТ-2

За допомогою обладнання системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту СТ-2 реалізуються системи внутрішньоофісного телефонного зв'язку (так звані безпроводові телефонні апарати, БТА) і системи радіодоступу (WLL). Структура системи радіодоступу (WLL) на базі стандарту СТ-2 наведена на рис. 8.56.

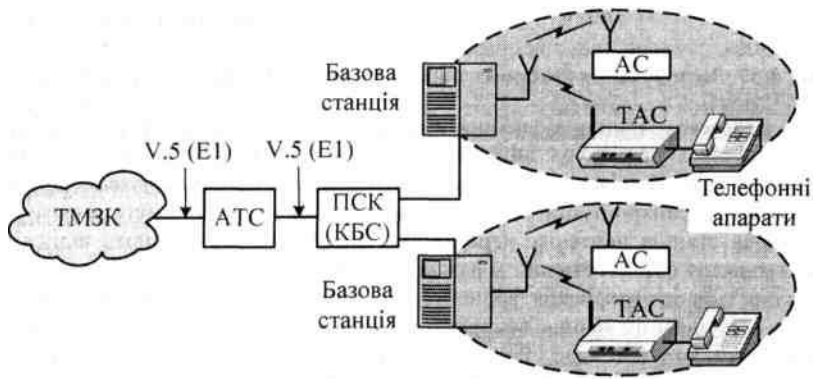


Рис. 8.56. Структура системи WLL на базі стандарту СТ-2

У складі обладнання передбачений пристрій сполучення та комутації (ПСК) або контролер базової станції (КБС). До ПСК може підключатися до кількох десятків базових станцій. Кожна базова станція забезпечує зв'язок у своїй зоні обслуговування, яка визначається характеристиками направленості антени, параметрами радіоінтерфейсу та умовами поширення сигналу.

За умови прямої видимості між базовою та абонентською станціями дальність зв'язку може досягати 10 км. Одночасно одна базова станція може обслуговувати до шести абонентських станцій. За цією структурою можуть використовуватися два типи абонентських станцій: носимі (АС на рис. 8. 56) і термінальні (ТАС).

Застосування обладнання стандарту СТ-2 як безпроводового телефонного апарата дозволяє телефонізувати невелике приміщення (рис. 8.57). Базова станція внутріофісного застосування може одночасно обслуговувати до шести абонентських станцій, при цьому вона підключається до ТМЗК через аналоговий інтерфейс.

З метою мінімізації співканальних і міжканальних радіозавад стандартом СТ-2 передбачено управління потужністю передавача абонентської станції в межах від 1 мВт до 10 мВт. Пікова потужність випромінювання передавача досягає 10 мВт, а середня - не перевищує 5 мВт.

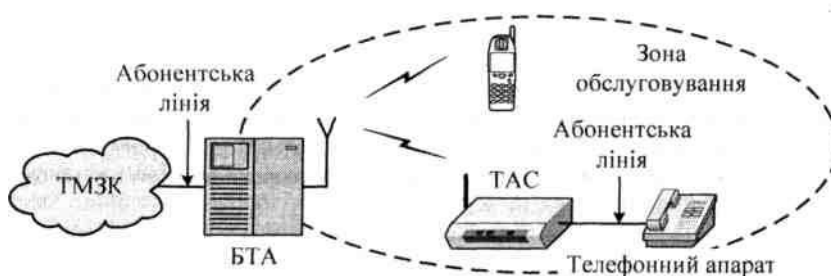


Рис. 8.57. Застосування безпроводового телефонного апарата стандарту СТ-2

Для встановлення з'єднання між абонентською та базовою станціями застосовується процедура ініціалізації, за якої в разі ініціювання виклику абонентською станцією вона кожні 14 мс передає на одному з дозволених каналів сигнал синхронізації та маркер каналу. Якщо синхронізація досягнута, то базова станція перевіряє переданий маркер каналу щодо його відповідності маркеру базової станції. В разі їхнього збігу ініціалізується з'єднання та здійснюється ідентифікація абонентської станції. Для ідентифікації обладнання в процесі з'єднання використовується унікальний 27-бітовий ідентифікаційний код (PIC-код, Personal Identity Code), який відповідає певній абонентській станції. У стандарті СТ-2



використовується принцип динамічного перерозподілу каналів (DCA, Dynamic Channel Access).

Основні технічні параметри та характеристики радіоінтерфейсу обладнання системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту СТ-2 наведені в табл. 8.29.

Однією з найпоширеніших реалізацій системи стандарту СТ-2 є система СТ-2 Tangara RD.

Для системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту СТ-2 в Україні виділена смуга частот від 864,0 МГц до 868,2 МГц [19].

Система цифрової безпроводової телефонії DCT-900 (Digital Cordless Telephony) забезпечує показники якості обслуговування близькі до показників системи вдосконаленого цифрового безпроводового зв'язку стандарту DECT.

Таблиця 8.29 - Параметри та характеристики радіоінтерфейсу обладнання систем цифрового безпроводового телефонного зв'язку

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики		
	СТ-2	DCT-900	DECT
Діапазон частот, МГц	від 864 до 868,2	від 800 до 1000 (від 862 до 866)	від 1880 до 1900
Смуга частот каналу, МГц	0,1	1,0	1,728
Кількість несучих частот	40	8	10
Загальна сміність каналів	40	64	120
Швидкість передавання даних, кбіт/с	72	32	32
Швидкість передавання даних каналом, кбіт/с	32	640	1152
Пікова потужність, мВт	10	–	250
Середня потужність передавача абонентського терміналу, мВт	5	5	10
Вид модуляції (клас радіовипромінювання)	GFSK (100KF7W)	GMSK BT = 0,5	GMSK BT = 0,5
Смуга частот сигналу, кГц, за рівнем:			
- мінус 30 дБ	170	–	3000
- мінус 20 дБ	100		1700
Чутливість, дБм	мінус 97 (для BER = 10 <sup>-6</sup> )	–	мінус 83 (BER = 10 <sup>-3</sup> ) мінус 73 (BER = 10 <sup>-5</sup> )

Мережа зв'язку системи DCT-900 забезпечує зв'язок не менше ніж 50 тисяч абонентських терміналів, розміщених на одному квадратному кілометрі. В системах DCT-900 використовується метод часового розділення каналів (TDMA) з часовим дуплексним розділенням режимів приймання та передавання (TDD). Основні технічні параметри та характеристики радіоінтерфейсу обладнання системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту DCT-900 наведені в табл. 8.29.

Структура кадру в системі цифрової безпроводової телефонії DCT-900 зображена на рис. 8.58.

Смуга радіочастот, яку займають інформаційні пакети в 16 часових інтервалах (8 дуплексних каналів) кадру в системі цифрової безпроводової телефонії DCT-

900, становить 1 МГц.

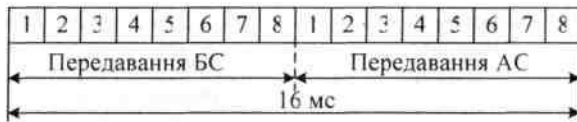


Рис. 8.58. Структура кадру в системі DCT-900

Система вдосконаленого цифрового безпроводового зв'язку стандарту **DECT** (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) представляє собою загальну малопотужну цифрову технологію радіодоступу до телекомунікаційних мереж загального користування за стандартом ETS 300 175. Універсальність стандарту DECT визначається можливістю підключення системи до багатьох сторонніх локальних і глобальних мереж. Стандарт розроблений з метою забезпечення високоякісного зв'язку в діапазоні УВЧ і базується на застосуванні гібридного методу множинного доступу до телекомунікаційних мереж: з часовим розділенням каналів та часовим дуплексом із використанням кількох несучих радіочастот (MC/TDMA/TDD, MC - Multi Carrier). Основні технічні параметри та характеристики радіоінтерфейсу обладнання системи цифрового безпроводового телефонного зв'язку стандарту DECT наведені в табл. 8.29. Структура системи радіодоступу на базі обладнання стандарту DECT наведена на рис. 8.59.

Попередником системи DECT була розглянута раніше система цифрової безпроводової телефонії PRE-DECT (DCT-900). Застосований у ній принцип розділення каналів забезпечує роботу базових і абонентських станцій на одній частоті.

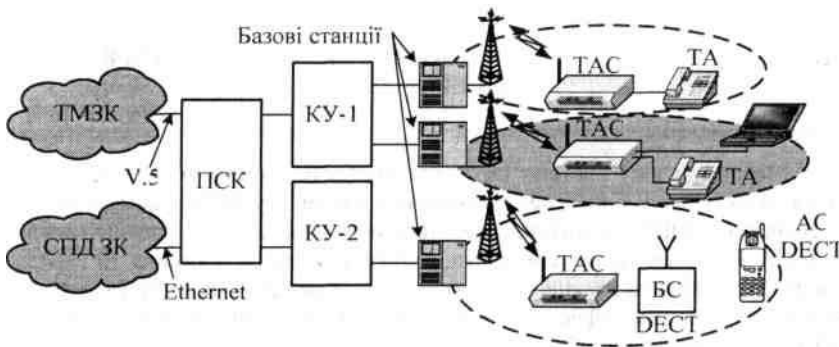


Рис. 8.59. Структура системи

Розподіл частотних каналів стандарту DECT зображений на рис. 8.60. Згідно з рішенням Європейського Співтовариства для систем стандарту DECT в Європі виділена смуга частот від 1880 МГц до 1900 МГц.

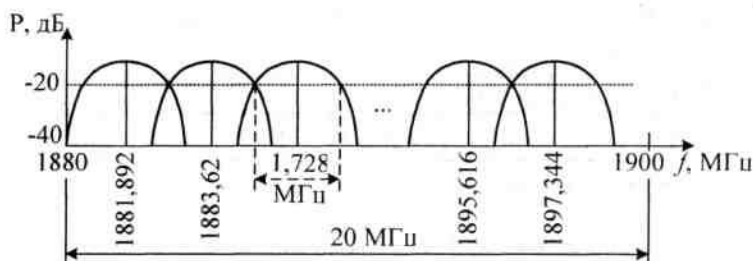


Рис. 8.60. Розподіл частотних каналів стандарту DECT

Середні значення частот каналів/- розраховуються (в мегагерцах) за формулою

$$f_c = 1879,344 + 1,728 \cdot N \quad (8.27)$$

де  $N = 0, 1, \dots, 9$  - номер каналу.

В якості основного виду модуляції в стандарті DECT використовується GFSK (із  $BT = 0,5$ ), але також може використовуватись модуляція GMSK. Ширина смуги частот одного частотного каналу становить 1,728 МГц. Для розширення функціональних можливостей систем DECT стандартом допускається застосування додаткових видів модуляції: відносної двійкової відносної квадратурної фазової  $\pi/4$ -DBPSK або відносної фазової

$\pi/2$ -DBPSK,

$\pi/8$ -DBPSK. Це забезпечує збільшення швидкості передавання на одній смузі частот,

хоча види модуляції  $\pi/4$ -DBPSK і  $\pi/8$ -DBPSK менш завадостійкі, ніж

GMSK. Застосування ортогональної модуляції  $\pi/2$ -DBPSK, навпаки, підви-

щує рівень завадостійкості та, відповідно, дальність зв'язку між базовою й абонентськими станціями.

Теоретично одна базова станція може надавати безпроводовим абонентам до 120 частотно-часових каналів передавання мови та даних. В кожному із частотних каналів протягом тривалості одного парціального часового кадру, яка для методу TDMA становить 10 мс, створюється 12 мовних каналів. Протягом першої половини кадру передається інформація від базової станції до абонентського терміналу, протягом другої половини - у зворотному напрямку. Застосування постійного динамічного вибору та виділення каналу дозволяє створювати пікостільникові системи великої ємності та використовувати їх у занадто перенавантаженому радіосередовищі. Структура кадру для стандарту DECT наведена на рис. 8.61.

Кадр тривалістю 10 мс складається з 24 часових слотів (інтервалів). Тривалість одного часового слоту дорівнює тривалості одного логічного пакету  $T_p = 417$  мкс (480 символів), а тривалість одного елементарного символу становить 0,85 мкс. Для завершення перехідних процесів і виключення перекриття пакетів сусідніх каналів, яке може виникнути внаслідок значної різниці часу затримки сигналів, що надходять до приймачів, у стандарті DECT передбачений захисний інтервал тривалістю 54 мкс.



Середнє значення випромінюваної потужності досягає 10 мВт (пікової - 250 мВт). Розмір стільника, як правило, не перевищує 200 м (для мобільних терміналів), але, в залежності від конкретної конфігурації та сфери застосування, може досягати кількох кілометрів (до 5 км у разі використання стаціонарних терміналів). У зв'язку з відсутністю в обладнанні стандарту DECT коректорів міжсимвольних

спотворень приймачі схильні до впливу міжсимвольної інтерференції, що визначає можливість роботи системи стандарту DECT лише на відстані прямої видимості. Передавання сигналів мовлення здійснюється в пакетному режимі. В кожному кадрі передається один пакет довжиною 320 бітів, кадри об'єднуються в мультикадри (по 16 кадрів). Результуюча інформаційна швидкість каналу становить 32 кбіт/с. У стандартному режимі в системах DECT може одночасно передаватися інформація мовлення та дані.

Стандартом DECT передбачений механізм динамічного вибору та виділення каналу (Dynamic Channel selection and Allocation, DCA), який базується на проведенні оцінювання локальної електромагнітної обстановки шляхом сканування та вимірювання рівнів радіосигналів, які приймаються за всіма частотно-часовими позиціями (Received Signal Strength Indication, Індикація рівня сигналу, що приймається). Малі значення рівнів сигналів відповідають вільним каналам, великі - зайнятим каналам або каналам із радіозавадами. Частотно-часові канали, в яких вимірний рівень менший заданого порогу, що дорівнює мінус 93 дБм, вважаються вільними й можуть бути обраними для організації каналу зв'язку. Таким чином, використання механізму DCA забезпечує застосування для організації зв'язку доступних каналів із найкращою якістю.

Для стандарту DECT, який в Україні функціонує як система фіксованого абонентського радіодоступу, виділена смуга частот від 1880 МГц до 1900 МГц [19].

Розроблений на базі стандарту СТ-2 стандарт японської системи персонального телефонного зв'язку **PHS** (Personal Handy phone System) працює в діапазоні частот від 1895 МГц до 1918 МГц і базується на використанні методу доступу TDMA/TDD. У стандарті PHS використовується 40 несучих частот із рознесенням 300 кГц, що дозволяє працювати з 160 каналами мовлення. Особливість застосування методу часового розділення - це відсутність необхідності попереднього планування частот. Максимальна дальність зв'язку стільникової станції з потужністю (100 - 500) мВт становить (300 - 500) м і 50 м для внутрішньої стільникової станції з потужністю 10 мВт. На максимальну швидкість переміщення рухомого абонента накладаються обмеження: вона не повинна бути більшою 30 км/год. Радіо інтерфейс стандарту PHS організований таким чином, що один передавач стільникової (базової) станції може одночасно забезпечувати зв'язок із чотирма абонентами.

Американська система **PACS** (Personal Access Communication System) відрізняється від системи стандарту DECT не лише виділеним діапазоном частот (від 1850 МГц до 1910 МГц на лінії „вгору” та від 1930 МГц до 1990 МГц на лінії „вниз”), але й необхідністю частотного планування, частотним дуплексним рознесенням каналів приймання та передавання, а також застосуванням мультиплексування з часовим розділенням на лініях „вгору” та „вниз”.

Система персонального безпроводового зв'язку **PWT** (Personal Wireless Telecommunications) базується на використанні (як базового) стандарту DECT і працює в неліцензованій смузі частот від 1910 МГц до 1920 МГц. Різновид системи PWT - удосконалена система PWT/E (PWT-Enhanced) - використовує смуги частот від 1850 МГц до 1910 МГц і від 1930 МГц до 1990 МГц.

Системи стандартів PACS, PWT і всесвітньої цифрової безпроводової телефонії **WDCT** (Worldwide Digital Cordless Telephony) в Європі практично не використовуються, тому не розглядаються.

Враховуючи особливості організації зв'язку та технічні параметри радіовипромінювання передавачів у системах безпроводового зв'язку стандартів СТ-1, СТ-2 і DECT, потрібно відмітити, що проведення моніторингу в смугах радіочастот, виділених для цих систем, та технічного радіоконтролю недоцільний та неможливий і тому не проводиться.

## **8.11 Системи транкінгового зв'язку**

### **8.11.1 Загальні відомості про системи транкінгового зв'язку**

Системи транкінгового зв'язку є найпоширенішим представником категорії приватних систем рухомого зв'язку (PAMR, Public Access Mobile Radio), які, у свою чергу, відносяться до професійних систем рухомого радіозв'язку (PMR, Professional Mobile Radio) і призначені для забезпечення доступу рухомих абонентів до телефонних мереж загального користування (ТМЗК).

Професійний зв'язок - це один із основних видів зв'язку, що забезпечують діяльність окремих галузей виробництва, установ, закладів і підприємств.

У професійних системах рухомого зв'язку (які найширше представлені транкінговим зв'язком) ефективне використання виділеного РЧР забезпечується за рахунок вільного доступу абонентів до частотного ресурсу загального користування. Системи транкінгового зв'язку також характеризуються:

- наявністю малої кількості базових станцій (одна - дві) та системи управління;
- можливістю виходу до ТМЗК;
- можливістю передавання даних і телеметричної інформації;
- можливістю збільшення розмірів зон обслуговування за рахунок створення багатозонових мереж.

Системи транкінгового зв'язку представляють собою радіально-зонові системи рухомого УКХ радіозв'язку та орієнтовані на створення відомчих і корпоративних мереж зв'язку із застосуванням активного режиму зв'язку абонента в групі.

Ці системи за видом сигналів розподіляються на аналогові та цифрові, а за принципом дії - на скануючі, з розподіленим каналом управління та з виділеним каналом управління.

У скануючих системах абонентська радіостанція під час виклику сама шукає вільний канал і займає його. В режимі чергування радіостанція безперервно опитує (сканує) всі канали системи з метою перевірки наявності виклику її базовою станцією (іншим абонентом). До таких систем відноситься система SmarTrunk II. Скануючі системи прості в експлуатації та дешеві за вартістю, але мають суттєві недоліки. Зі збільшенням кількості каналів зростає тривалість установаження з'єднання, оскільки вона не може бути меншою тривалості повного циклу сканування. Крім того, ці системи не забезпечують реалізацію багатьох сучасних вимог, зокрема, стосовно багато-зонової структури, гнучкої системи пріоритетів, установаження черговості в разі зайнятості системи чи абонента, який викликається. Такі системи доцільно використовувати для створення невеликої однозонової системи (від 1 до 8 каналів із кількістю абонентів не більше 200).

До класу систем транкінгового зв'язку з розподіленим каналом управління відносяться система LTR та її сучасна модифікація ESAS (обидві використовуються в США). В таких системах інформація управління передається безперервно всіма каналами (в тому числі, й зайнятими). Кожен канал є одночасно каналом управління

для радіостанцій, які закріплені за ним. У режимі чергування кожна радіостанція прослуховує „свій“ канал. У цьому каналі базова станція безперервно передає номер вільного каналу, який може бути використаний радіостанцією для зв'язку. В разі встановлення сеансу зв'язку з будь-якою радіостанцією інформація про це передається на каналі управління цієї радіостанції і вона переключається на канал виклику. Під час проведення сеансу зв'язку з певною радіостанцією можливість зв'язку з іншими радіостанціями блокується.

В системах транкінгового зв'язку з виділеним каналом управління радіостанція безперервно „прослуховує“ канал управління найближчої до неї базової станції. В разі надходження виклику базова станція передає інформацію про це каналом управління. Після надходження сигналу підтвердження від радіостанції, яка викликається, базова станція виділяє один із вільних каналів та інформує про це всі інші радіостанції, що задіяні в сеансі зв'язку, в результаті чого вони переключаються на цей канал і залишаються на ньому до закінчення сеансу. Системи з виділеним каналом управління в найбільшій мірі відповідають сучасним вимогам, оскільки дозволяють реалізувати багатозонову структуру та інші функції. Архітектура типової однозонової транкінгової мережі з частотним розділенням каналів зображена на рис. 8.62.

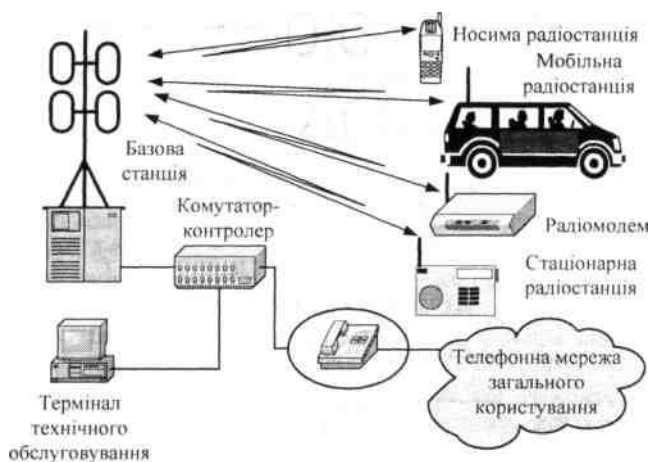


Рис. 8.62. Архітектура типової однозонової транкінгової мережі з частотним розділенням каналів

До складу базової станції входять модулі прийомо-передавачів (ретранслятори) кожен з яких використовує дві частоти (для приймання та передавання). Таким чином, на відміну від звичайного зв'язку, коли для його забезпечення між радіостанціями в напівдуплексному режимі достатньо однієї частоти, система транкінгового зв'язку потребує дві, а для роботи в дуплексному режимі - чотири частоти, що значно зменшує її пропускну здатність. Комутатор-контролер забезпечує взаємодію вузлів базової станції. Принцип рознесення частот під час роботи в напівдуплексному та дуплексному режимах роботи пояснюється на рис. 8.63.

Основні особливості організації зв'язку в однозоновій структурі системи аналогового транкінгового зв'язку (на відміну від систем стільникового зв'язку) такі:

- зона створюється однією базовою станцією із кількома модулями прийомо-передавачів, кожен з яких налаштований на одну пару частот - приймання та передавання;
- базова станція випромінює радіосигнали лише під час сеансу зв'язку з

абонентом;

-у зв'язку з великими розмірами зони (від 5 км до 80 км) для забезпечення зворотного (від абонентської станції до базової станції) зв'язку абонентські термінали мають досить велику випромінювану потужність, тому потребують моніторингу їхніх радіовипромінювань.

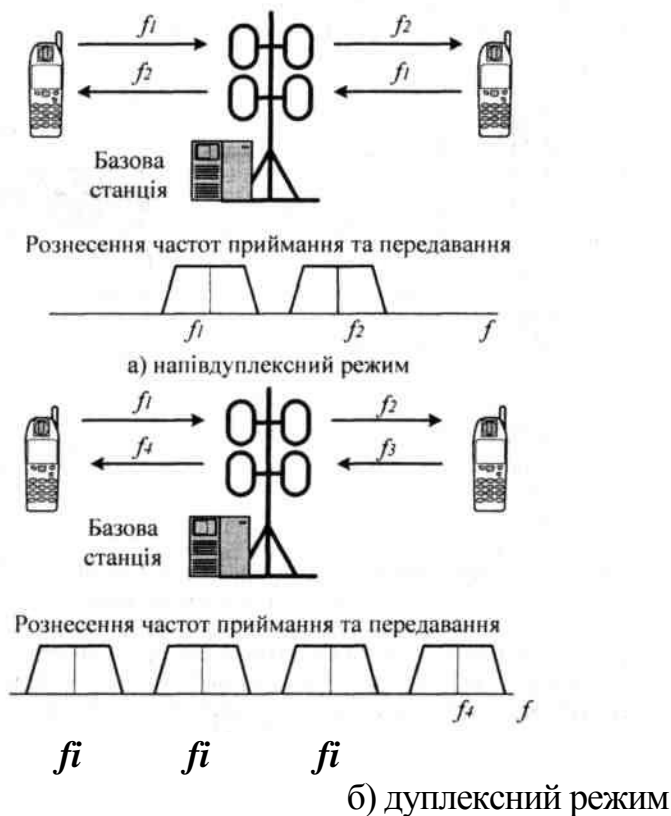


Рис. 8.63. Принцип рознесення частоту напівдуплексному та дуплексному режимах роботи

Багатозонава транкінгова мережа створюється з метою збільшення розмірів території обслуговування, яка при цьому поділяється на зони (як правило, шестикутної конфігурації). Управління мережею здійснює центральний вузол. В багатозонових транкінгових мережах виникає необхідність стеження за місцезнаходженням абонентів під час їхнього переміщення з

однієї зони до іншої та частотного планування з метою виключення взаємних радіозавад між радіостанціями сусідніх зон.

Відкриті аналогові системи транкінгового зв'язку представлені системами протоколу MPT1327 (ACCESSNET, ACTIONET), системами SmartTrunk, Startsite, Smartnet, Smartzone (фірми Motorola) та системами LTR, Multi-Net, ESAS інших виробників. їхня робота ґрунтується на застосуванні ЧМ звукового сигналу. З урахуванням ретрансляції сигналів один канал займає дві смуги по 12,5 кГц (у ранніх модифікаціях системи - один канал шириною 25 кГц).

Сигнали управління (запит, відповідь на запит, ідентифікаційні коди абонентів, тип виклику, ідентифікатор системи та інша інформація стосовно режимів роботи) передаються мовними каналами.

Стандарт MPT 1327 (Ministry of Post and Telecommunication) визначає формат сигналізації для систем транкінгового наземного рухомого зв'язку, в яких інформаційні повідомлення передаються аналоговими каналами. Формат

сигналізації представляє собою цифрову бінарну послідовність, яка передається зі швидкістю 1200біт/с із застосуванням швидкої частотної маніпуляції (FFSK, Fast Frequency Shift Keying). Вимоги до радіоінтерфейсу та контролерів базових станцій системи транкінгового стандарту зв'язку MPT 1327 визначені стандартом MPT 1347, а вимоги до абонентського обладнання - стандартом MPT 1343.

В основу протоколу MPT 1327 покладено такі принципи:

1) застосування виділеного каналу управління, в якості якого використовується один із каналів базової станції, решта каналів відноситься до каналів трафіка;

2) обслуговування за чергою (якщо виклик від абонентської станції надходить тоді, коли всі канали зайняті, то він ставиться в чергу і буде обслужений згідно із пріоритетом абонента);

3) застосування алгоритму вільного доступу для вирішення конфліктних ситуацій, які можуть виникнути в разі надходження запитів від кількох абонентів;

4) наявність роумінгу (передбачено інформування базової станції абонентською стосовно місцезнаходження абонента);

5) відкритість стандарту (допускає можливість виробництва обладнання за цим стандартом іншими виробниками).

Протокол MPT 1327 не накладає обмежень на тип радіоканалу та вид модуляції. Наприклад, цифрова система ACCESSNET повністю базується на застосуванні даного протоколу. Нумерація каналів передавачів базових станцій і абонентських терміналів у стандарті MPT 1327 наведені в табл. 8.30.

Обладнання забезпечує можливість роботи на одному з 503 каналів (від 58-го до 560-го) в діапазоні частот від 201,2125 МГц до 207,4875 МГц (для передавача базової станції) і від 193,2125 МГц до 199,4875 МГц (для абонентської станції). Максимальна девіація частоти становить  $\pm 2,5$  кГц. Для передавання мовних повідомлень використовується ФМ, а для цифрових - тональні піднесучі частоти та модуляція FFSK.

Стандартом визначені такі параметри модуляції для передавання цифрових повідомлень:

1) швидкість передавання - 1200 біт/с;

2) піднесучі частоти:

для передавання „0” - 1800 Гц;

- для передавання „1” - 1200 Гц;

3) нерівномірність АЧХ модулятора - не більше 1,5 дБ;

і) девіація частоти:

- за нормальних умов -  $1,5 \text{ кГц} \pm 250 \text{ Гц}$ ;

- граничні значення -  $1,5 \text{ кГц} \pm 500 \text{ Гц}$ .

Смуга пропускання каналу мовлення визначається інтервалом від 300 Гц до 2,55 кГц із нерівномірністю АЧХ не більше  $\pm 3$  дБ.

Системи SmartTrunk (та її модернізований варіант SmartTrunk II) являють собою однозонові системи транкінгового зв'язку з децентралізованим протоколом управління, який базується на пошуку вільного каналу абонентськими станціями. Обидві системи працюють у діапазонах частот 160 МГц, 330 МГц, 450 МГц. Для



передавання інформації мовлення в системі використовується аналогова ЧМ, для сигналізації - цифрова BPSK, яка також використовується в діапазоні передавання сигналів мовлення. Час установлення з'єднання становить від 0,5с до Юс (у залежності від кількості абонентів). Максимальна кількість каналів - 4096, максимальна кількість робочих каналів у системах SmartTrunk і SmartTrunk II - 16.

Основна перевага систем SmartTrunk і SmartTrunk II - це простота та низька вартість обладнання, в першу чергу, абонентських станцій, які представляють собою звичайні радіостанції з ЧМ. До недоліків треба віднести низький рівень сервісу, тривалий час установлення зв'язку та неможливість розгортання багатозонової системи зв'язку.

В Україні нині дозволена експлуатація лише двох стандартів аналогового транкінгового зв'язку SmartTrunk і MPT1327, для яких згідно з [19] виділені парні смуги частот (423 - 430) МГц (від абонентської станції до базової) і (413 - 420) МГц (від базової станції до абонентської), від 150,05 МГц до 156,7625 МГц, від 156,8375 МГц до 162,75 МГц та від 163,2 МГц до 168,5 МГц.

Системи цифрового транкінгового зв'язку мають такі суттєві переваги над аналоговими системами:

1) забезпечення високої оперативності зв'язку (час установлення зв'язку в цифрових системах менший, ніж у аналогових системах, крім того, простіше реалізуються режими зв'язку, що збільшують його оперативність: режим безпосереднього зв'язку, режим відкритого каналу, режими пріоритетних і аварійних викликів);

2)кращі можливості передавання даних: зображень, коротких і статусних повідомлень, персонального радіовиклику, забезпечення доступу до фіксованих мереж зв'язку (в тому числі до мереж, які працюють на базі протоколу TCP/IP);

3)вищий рівень безпеки зв'язку за рахунок шифрування інформації та автентифікації абонентів;

4)краща здатність задовольняти сучасні вимоги до якості послуг зв'язку (роумінг, управління потоками даних, переадресація викликів, а також надання специфічних послуг на замовлення спеціальних служб);

5)можливість організації взаємодії абонентів різних відомств.

До найпопулярніших **стандартів цифрового** транкінгового зв'язку відносять такі: EDACS, TETRA, APC025, TETRAPOL та iDEN [156].

Удосконалена система цифрового зв'язку стандарту **EDACS** (Enhanced Digital Access Communication System) є однією з перших систем транкінгового зв'язку. її цифрова модифікація EDACS Aegis застосовує цифрові методи передавання. Системи EDACS передбачають можливість роботи в діапазонах частот від 138 МГц до 174 МГц, від 403 МГц до 423 МГц, від 450 МГц до 470 МГц, від 806 МГц до 870 МГц із частотним рознесенням 30 кГц, 25 кГц або 12,5 кГц. У цьому типі систем застосовується частотне розділення каналів із використанням високошвидкісного (до 9600 кбіт/с) виділеного каналу управління. Швидкість передавання інформації в робочому каналі також становить 9600 кбіт/с, а тривалість установлення зв'язку в однозоновій системі - не більше 0,25 с.

Найбільшого поширення у світі набули стандарти APC025 і TETRA.

Система транкінгового зв'язку стандарту **APC025** (Association of Public Communications Official international) є відкритою системою, що призначена для використання службами громадської безпеки. Системна архітектура стандарту

підтримує як транкінгові, так і звичайні (конвенціональні) системи радіозв'язку, в яких абоненти взаємодіють один з одним або в режимі безпосереднього зв'язку або за допомогою ретранслятора. Стандарт APC025 передбачає можливість роботи в діапазонах частот від 138 МГц до 174 МГц, від 406 МГц до 512 МГц або від 746 МГц до 869 МГц. Основний метод доступу - FDMA, але є можливість застосування методу TDMA. Стандартний крок сітки частот становить 12,5 кГц (для Фази I) і 6,25 кГц (для Фази II). В разі використання смуги частот 12,5 кГц застосовується модуляція 4FSK зі швидкістю передавання 4800 символів/с, у разі використання смуги частот 6,25 кГц - чотирипозиційна фазова модуляція зі згладжуванням фази за методом CQPSK (Continuous QPSK). Інформація мовлення передається кадрами тривалістю 180 мс, згрупованими попарно. Час установлення зв'язку в режимі прямого зв'язку становить не більше 250 мс, у разі зв'язку через ретранслятор - 350 мс. Стандарт **TETRA** (TErrestrial Trunked RAdio) - відкритий стандарт транкінгового зв'язку, що складається із двох частин:

1) TETRA V+D (TETRA Voice+Data) - стандарту на інтегровану систему передавання даних і мовлення;

2) TETRA PDO (TETRA Packet Data Optimized) - стандарту, який відноситься до спеціального варіанту системи транкінгового зв'язку, зорієнтованого на передавання даних пакетами.

В системах стандарту TETRA V+D використовується метод багато-станційного доступу з часовим розділення каналів зв'язку (TDMA). Для систем транкінгового зв'язку стандарту TETRA можуть використовуватися діапазони частот від 150 МГц до 900 МГц, але реально в Європі за службами безпеки закріплені смуги частот (380 - 385) МГц/(390 - 395) МГц, а для комерційних установ - смуги частот (410 - 430) МГц/(450 - 470) МГц і (870 - 876) МГц/(915 - 921) МГц.

Стосовно організації зв'язку системи стандарту TETRA можуть мати як однозонову, так і багатозонову структуру. В першому випадку абоненти підтримують зв'язок лише з однією базовою станцією, у багатозонній структурі організується зв'язок із базовою станцією, яка ідентифікована абонентом. Для організації каналів зв'язку з метою обслуговування абонентів застосовуються дві схеми ущільнення:

1) для лінії „вниз” (downlink) - статистичне часове ущільнення (STM, Statistic Time Multiplexing);

2) для лінії „вгору” - статистичний багатостанційний доступ (STMA, Statistic Time Multiple Access).

Системи стандарту TETRA можуть функціонувати в режимах транкінгового зв'язку, з відкритим каналом або безпосереднього зв'язку. В першому випадку територія, що обслуговується, покривається зонами дії базових приймально-передавальних станцій і зв'язок між мобільними станціями (абонентами) організується лише через базову станцію. У режимі з відкритим каналом радіостанції забезпечують двочастотний симплексний зв'язок, при цьому встановлюється з'єднання „один пункт - кілька пунктів” і всякий абонент може використовувати цей канал без застосування будь-якої установчої процедури. В режимі безпосереднього зв'язку між терміналами встановлюються двопунктові та багатопунктові з'єднання без застосування базової станції.

Стандартна швидкість передавання становить 36 кбіт/с. Застосування в системах стандарту TETRA відносної фазової маніпуляції  $\pi/4$ -DQPSK дозволяє зменшити швидкість передавання цифрового інформаційного потоку до 18 кбіт/с.

Повідомлення передаються гіперкадрами, які складаються із 60 мультикадрів тривалістю 1,02 с кожний. Мультикадр містить 18 TDMA-кадрів (один із них - контрольний) тривалістю 56,67 мс кожний і чотири часових інтервали *{time slots}*.

У системах стандарту TETRA використовуються сигнали з класом радіовипромінювання *18K0D7W*. Для збільшення завадостійкості каналу зв'язку в стандарті TETRA застосовується каналне кодування та перемежовування.

Базові станції та термінали мають кругові ДН в азимутальній площині. Системи цифрового транкінгового зв'язку працюють у дуплексному режимі з рознесенням каналів „вгору” та „вниз”, яке становить 10 МГц.

До особливостей технічних параметрів сигналів стандарту TETRA можна віднести такі:

- ширина смуги частот одного каналу становить 25 кГц (на одній фізичній частоті може бути організовано чотири інформаційні канали з ефективною шириною смуги кожного каналу 6,5 кГц);

- у стандарті TETRA застосовується сітка частот із кроком 25 кГц;

- мінімальне дуплексне рознесення радіоканалів становить 10 МГц;

- пропускна здатність одного інформаційного каналу становить 7,2 кбіт/с, швидкість цифрового інформаційного потоку даних - 28,8 кбіт/с;

- необхідний рівень випромінювання в сусідньому каналі - мінус 60 дБ;

- потужність передавача базової станції може становити від 0,6 Вт (29 дБм) до 40 Вт (46 дБм), мобільної станції - від 1 Вт до 30 Вт, носимої станції (абонентського терміналу) - від 1 Вт до 3 Вт.

Дальність зв'язку за динамічних умов експлуатації мобільної чи носимої станції системи транкінгового зв'язку TETRA в межах зони радіо-покриття, яка визначається відповідним значенням потужності, наведена в табл. 8.31. В Україні для стандартів TETRA, Air-TETRA, TETRA-COMПАКТ і TETRA-DIMETRA виділені парні смуги частот від 423 МГц до 430 МГц (лінія „вниз”) і від 413 МГц до 420 МГц (лінія „вгору”) [19].

Таблиця 8.31 - Дальність зв'язку системи транкінгового зв'язку стандарту TETRA

Дальність зв'язку, км, не менше	Напрямок зв'язку			
	Мобільна станція – базова станція		Носима станція – базова станція	
	Відсоток забезпечення зв'язком			
	50 %	90 %	50 %	90 %
В сільській місцевості	33	15	12	6
В місті	19	9,5	7	3,9

Стандарт **TETRAPOL** описує систему цифрового транкінгового зв'язку з виділеним каналом управління та частотним методом розділення каналів зв'язку. Стандарт дозволяє створювати як однозонові, так і багатозонові мережі зв'язку різної конфігурації, забезпечувати можливість безпосереднього зв'язку абонентів без застосування базових станцій. Системи зв'язку стандарту TETRAPOL мають можливість роботи в широкому діапазоні частот від 70 МГц до 520 МГц. У діапазоні частот понад 150 МГц рекомендується застосовувати дуплексне рознесення між частотами приймання та передавання, рівне 10 МГц.

Частотне рознесення між сусідніми каналами може становити 12,5 кГц або 10 кГц. У системах стандарту TETRAPOL підтримується ширина смуги частот до 5

МГц, що забезпечує можливість використання в мережі 400 радіоканалів (для частотного рознесення каналів 12,5 кГц) або 500 радіоканалів (для частотного рознесення 10 кГц). При цьому в кожній зоні може використовуватися від 1 до 24 каналів. Передавання організується кадрами тривалістю 20 мс (160 бітів), які об'єднуються в суперкадри тривалістю 4 с (200 кадрів). Швидкість передавання інформації в каналі зв'язку становить 8000 біт/с. У системах стандарту TETRAPOL застосовується модуляція GMSK із  $BT = 0,25$ .

У стандарті передбачено використання трьох режимів роботи: тран-кінгового (мережевого) режиму, режиму безпосереднього (прямого) зв'язку та режиму ретрансляції. В режимі ретрансляції зв'язок між абонентами здійснюється через ретранслятор, який використовує фіксовані канали для передавання та приймання.

Порівняно із системами інших стандартів, системи стандарту TETRAPOL забезпечують також можливість надання користувачам поряд із сервісними послугами багатьох додаткових послуг (зокрема, дистанційного відключення терміналу диспетчером мережі, застосування часових ідентифікаторів абонентів, шифрування інформації, надання ключів через радіоканали тощо), що дозволяє ефективно реалізовувати специфічні мережі зв'язку службами громадської безпеки та правоохоронних органів.

Удосконалена інтегрована цифрова мережа **iDEN** (integrated Digital Enhanced Network) представляє собою корпоративний стандарт із відкритою архітектурою, що призначений для реалізації інтегрованих систем, які забезпечують всі види рухомого зв'язку (диспетчерського, мобільного телефонного, передавання текстових повідомлень та пакетів даних) і зорієнтований на створення корпоративних мереж для великих установ, які надають послуги зв'язку. Пакетний режим передавання даних підтримує протокол TCP/IP.

Системи стандарту iDEN забезпечують можливість організації зв'язку за будь-яким напрямком: мобільний абонент- мобільний абонент, мобільний абонент - абонент телефонної мережі загального користування. Системи стандарту iDEN використовують доступ TDMA і метод модуляції 16-QAM. В кожному частотному каналі шириною 25 кГц передається інформація 6 каналами мовлення. Передавання реалізується кадрами тривалістю 90 мс. Швидкість передавання в одному каналі становить 7,2 кбіт/с, сумарна швидкість цифрового потоку в радіоканалі досягає 64 кбіт/с.

Для систем стандарту iDEN передбачено частотний діапазон (805 -821) МГц/(855 - 866) МГц, який, завдяки високій спектральній ефективності, дозволяє розташувати в смузі частот 1 МГц до 240 інформаційних каналів. Потужність портативних і мобільних терміналів становить 0,6 Вт.

#### 8.11.2 Особливості організації радіомоніторингу випромінювання систем транкінгового зв'язку

Особливості організації радіомоніторингу випромінювання зазначених систем зв'язку ґрунтуються на таких властивостях організації їхніх мереж:

- мережі транкінгового зв'язку в Україні організовані за однозоною структурою;

- зона обслуговування мережі транкінгового зв'язку в межах міст створюється, як правило, шляхом застосування однієї базової станції з використанням потужних передавачів;

- абонентські термінали мають досить великий рівень випромінюваної потужності;
- кількість абонентів мереж транкінгового зв'язку невелика;
- спостереження радіовипромінювання базових станцій мереж транкінгового зв'язку можливе лише під час сеансу зв'язку з абонентами;
- частота випромінювання змінюється в залежності від кількості активних абонентів.

Враховуючи це, можна відмітити, що моніторинг у смугах частот від 410 МГц до 430 МГц і від 150 МГц до 170 МГц, виділених в Україні для систем аналогового транкінгового зв'язку стандартів SmartTrunk, SmartTrunk II та MPT1327, може бути організований шляхом використання стаціонарних, та, як виняток, мобільних засобів, але, враховуючи те, що в межах міст можуть розгортатися одна - дві базові станції, його проведення вважається недоцільним.

Технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювання може проводитися лише стосовно базових станцій із застосуванням мобільних та стаціонарних засобів. Завдяки тому, що в системах аналогового транкінгового зв'язку використовуються ЧМ сигнали, методи селекції, ідентифікації та вимірювання параметрів радіовипромінювання передавачів базових станцій практично не відрізняються від аналогічних процедур, що застосовуються під час контролю радіовипромінювання передавачів аналогового звукового мовлення. Пошук та виявлення радіовипромінювання здійснюється шляхом тривалого спостереження у певних смугах радіочастот.

Під час технічного радіоконтролю можуть визначатися характеристики модуляції та вимірюватися такі параметри радіовипромінювання:

- несуча частота (її номінальне значення, номер частотного каналу);
- ширина смуги частот (контрольна та займана);
- напруженість електромагнітного поля та рівень сигналу;
- девіація частоти.

Несуча частота визначається методами спектрального аналізу як частота, що відповідає максимальному значенню спектрального складника сигналу.

Ширина займаної смуги частот вимірюється методом за критерієм X дБ на рівні мінус 25 дБ. Таблиця 8.32-Основні технічні параметри систем персонального радіовиклику

Назва протоколу і напрямок радіозв'язку	Діапазон частот, МГц	Ширина смуги частот, кГц	Швидкість передавання, бод
POCSAG	будь-який для пейджингового зв'язку	25	512, 1200, 2400
FLEX		25	1600, 3200, 6400
RDS	від 88 до 108	—	1200
ERMES	від 169,425 до 169,8 16 каналів	25	6250
ReFLEX25 - передавання на пейджери - приймання	від 929 до 931 і від 940 до 941 від 901 до 902	25 або 50	1600, 3200, 6400
ReFLEX50 - передавання на пейджери - приймання	від 930-931 і від 940 до 941 від 901 до 902	50	до 25600
InFLEXion - передавання на пейджери - приймання	930 до 931 і від 940 до 941 від 901 до 902	50	цифрова компресія звуку



## Телефон

Рис. 8.64. Схема організації однозонової мережі пейджингового зв'язку

Схема організації багатозонової мережі зображена на рис. 8.65.

Протокол АРОС відноситься до одного з найперших і найпростіших протоколів, розроблених на системи персонального радіовиклику. В ньому з метою передавання застосовувалася заміна найпоширеніших слів та фраз кодованими трибайтовими повідомленнями.

Протокол POCSAG (Post Office Code Standardization Advisory Group) нині належить до одного з найпоширеніших протоколів одностороннього пейджингового зв'язку. В ньому використовується метод частотної маніпуляції FSK (із застосуванням прямої корекції помилок FEC). Передавання інформації здійснюється блоками, кожен з яких складається з пакетів. На початку сеансу зв'язку передається так звана „преамбула“ (одне посилення на 30 пакетів).



Рис. 8.65. Схема організації мережі пейджингового зв'язку за стільниковою технологією

Код POCSAG асинхронний. Це означає, що пакет може прийматися в будь-який

момент часу. Перехід приймача системи пейджингового зв'язку з режиму „чергування” до режиму „приймання” забезпечується за рахунок застосування сигналу тактової синхронізації в повідомленні преамбули. Тактова послідовність являє собою послідовність логічних „0” та „1” довжиною 576 біт. Тривалість повідомлення преамбули залежить від швидкості передавання й змінюється від 1,125 с (для швидкості 512 кбіт/с) до 0,24 с (для швидкості 2400 кбіт/с). Пропускна здатність передавання повідомлень також залежить від швидкості передавання й становить 109 повідомлень (по 30 пакетів кожне) для швидкості 512 кбіт/с або 511 повідомлень (такої ж ємності) для швидкості 2400 кбіт/с.

Протокол FLEX (Flexible Wide-area Protocol) належить до високо-швидкісного протоколу одностороннього пейджингового зв'язку (для передавання інформації застосовуються швидкості 1600 біт/с, 3200 біт/с і 6400 біт/с). У ньому, на відміну від протоколу POCSAG, реалізовано синхронне передавання даних: синхронізація роботи передавача та приймача здійснюється за абсолютним значенням часу.

В разі застосування швидкості 1600 біт/с використовується дворівнева ЧМ, а для швидкості 6400 біт/с - чотирирівнева ЧМ. Для швидкості 3200 біт/с може використовуватися одна з них. Значення девіації частоти для різних двійкових даних із дворівневою та чотирирівневою модуляцією наведені на діаграмі рис. 8.66. Передавання даних у протоколі FLEX здійснюється кадрами зі швидкістю 32 кадри/хв. (1,875 с на один кадр). Повний цикл протоколу складає 128 кадрів (з нумерацією від 0 до 127), які передаються кожні 4хв (тому кожна година



поділяється на 15 циклів). Для

синхронізації режимів передавання даних і роботи приймачів застосовуються сигнали єдиного часу, що передаються на початку кожної години в нульовому кадрі нульового циклу.

До основних переваг протоколу FLEX можна віднести поліпшені характеристики завадостійкості каналу передавання, вищу ніж для протоколу POCSAG пропускну здатність одного каналу, а також мо-

Рис. 8.66. Значення жливівсть сумісної роботи з іншими протоколами, наприклад, POCSAG. Протокол пейджингового зв'язку ERMES (European Radio MESSaging System) складніший за організацією зв'язку, основна його перевага - це сумісність з європейським стандартом системи GSM. Системи на базі цього протоколу забезпечують передавання:

- будь-якого набору даних обсягом до 64 кбіт;
- цифрових повідомлень довжиною до 1600 знаків;
- знаково-цифрових повідомлень довжиною до 9000 символів.

Для функціонування системи пейджингового зв'язку протоколу ERMES виділена взаємно узгоджена між країнами Європейської співдружності смуга частот від 169,4 МГц до 169,8 МГц, в якій організується 16 частотних каналів із

рознесенням між ними 25 кГц. Передавання інформації здійснюється циклами (60 циклів тривалістю 1 хв протягом 1 год.), кожен з яких містить п'ять послідовностей по 12 с. Швидкість передавання становить 6,25 кбіт/с. Для приймання сигналів використовуються скануючі за частотою приймачі (пейджері). Оскільки робочі канали розподілені між регіонами, то пейджері, які знаходяться в зоні приймання „своїх“ базової станції, приймають повідомлення на частоті її роботи. В разі наявності в зоні іншої базової станції пейджер переходить у режим сканування каналів ERMES і починає приймання сигналу на частоті базової станції іншого регіону.

Багатоцільовий пейджинговий стандарт RDS (Radio Data System) призначений для передавання пейджингових повідомлень каналами ЧМ телевізійного та звукового мовлення в діапазоні УКХ. Принцип передавання ґрунтується на ущільненні сигналу радіомовної станції. Передавання інформації здійснюється шляхом її доповнення до комплексного стереофонічного ЧМ сигналу на піднесучій частоті 57 кГц із дев'ятию частоти  $\pm 2$  кГц (ЧМ сигнал RDS). Спектр сумарного сигналу зображений на рис. 8.67 (де А і В - сигнали правого та лівого каналів стереофонічного мовлення, с - відсоток внеску до загальної дев'яти частоти).

Стандарт RDS розрахований на одночасну підтримку чотирьох пейджингових мереж. Оскільки формат RDS „не прив'язаний“ до конкретної частоти, а працює в смузі частот УКХ, то для настроювання пейджер сканує весь діапазон частот.

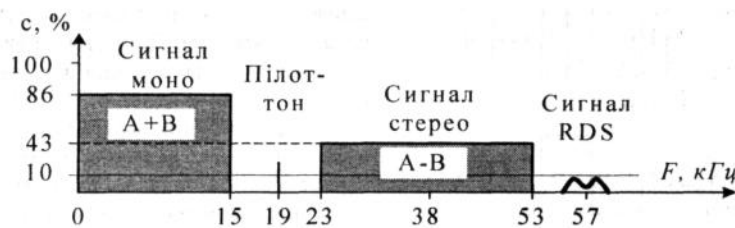


Рис. 8.67. Спектр сумарного сигналу (комплексного стереофонічного із сигналом RDS)

Протоколи ReFLEX та InFLEXion призначені для організації двостороннього цифрового передавання повідомлень із підтвердженням приймання в смузі частот від 901 МГц до 902 МГц і є наслідком подальшого розвитку протоколу FLEX. У протоколах ReFLEX та InFLEXion використовуються сигнали у виді частотно маніпульованих бінарних (двійкових) символів із дев'ятию частоти  $\pm 4,5$  кГц. При цьому в спектрі сигналу присутні лише бічні складники, а випромінювання на несучій частоті може взагалі бути відсутнім. Усі ці протоколи відносяться до аналого-цифрових.

Відповідно до Плану використання РЧР [19] в Україні дозволено використання систем персонального радіовиклику лише за протоколами POCSAG і FLEX, для яких виділена смуга радіочастот від 160,975 МГц до 161,25 МГц.

До особливостей технічних параметрів і характеристик цього виду зв'язку відносяться такі:

- в Україні використовуються лише однозонові мережі систем персонального радіовиклику;

- системи персонального радіовиклику, які експлуатуються в Україні в межах міст, представлені, як правило, однією - двома базовими станціями;



- в системах персонального радіовиклику реалізований однонаправлений зв'язок - від базової станції до абонентської (пейджера);

- в передавачі базової станції пейджингового зв'язку присутнє радіовипромінювання лише під час передавання інформації, тобто він працює в неперіодичному режимі;

- в системах персонального радіовиклику використовують сигнали із класами радіовипромінювання: *16K0F1D*, *15R0F2D*, *16R0F3D* (канали передавання кодової інформації) та *16K0F3E* (телефонія - для організації сервісних функцій у складі системи);

- в залежності від швидкості передавання в стандарті FLEX застосовується дворівнева (для швидкостей 1600 біт/с, 3200 біт/с) або чотирирівнева (для швидкостей 3200 біт/с, 6400 біт/с) частотна маніпуляція;

- вихідна потужність передавача базової станції може досягати кількох сотень ват (до 500 Вт), але фактично в Україні, відповідно до наданих дозволів на експлуатацію, вихідні потужності передавачів нині обмежені рівнем 40 Вт (лише для окремих базових станцій дозволено використовувати вихідні потужності до 100 Вт);

- дальність дії зв'язку визначається висотою підвісу передавальної антени над земною поверхнею;

- ширина смуги частот каналу становить 25 кГц;

- девіація частоти не перевищує  $\pm 5$  кГц (4,5 кГц для протоколу POCSAG і 4,8 кГц для протоколу FLEX).

Чутливість пейджерів залежить від швидкості передавання повідомлень і становить 5 мкВ/м для швидкості 512 біт/с, 7 мкВ/м для швидкості 1200 біт/с і 9 мкВ/м для швидкості 2400 біт/с.

#### 8.12.2 Особливості організації радіомоніторингу випромінювання систем персонального радіовиклику

Враховуючи відмічені особливості організації систем персонального радіовиклику, зокрема, заздалегідь відоме місцезнаходження базових станцій, надто обмежену їхню кількість у межах населених пунктів, можливість візуалізації антен, а також прогнозоване зменшення попиту щодо послуг цієї категорії засобів зв'язку, треба відмітити, що організація моніторингу в смугах частот роботи базових станцій мереж пейджингового зв'язку вважається недоцільною. З відомих причин технічний радіоконтроль РЕЗ персонального радіовиклику може проводитися лише стосовно базових станцій із застосуванням як стаціонарних, так і мобільних засобів. Особливість технічного радіоконтролю параметрів випромінювання базових станцій цієї категорії РЕЗ визначається тим, що радіовипромінювання передавача присутнє лише під час передавання ним повідомлень. Крім того, в разі передавання ЧМ сигналу з індексом  $m > 1$  основна частина потужності радіовипромінювання припадає на бічні складники спектра, а випромінювання на несучій частоті взагалі може бути відсутнім.

Під час виконання технічного радіоконтролю може проводитися:

- виявлення радіовипромінювання;

- пеленгування та визначення місцезнаходження базової станції;

- ідентифікація радіовипромінювання щодо його належності певній базовій станції;

- інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювання.

Пеленгування ДРВ здійснюється за класичними методами шляхом застосування штатного пеленгаційного обладнання.

Місцезнаходження базових станцій визначається як точка перетину кількох (щонайменше, двох) пеленгів, отриманих із різних пунктів.

Під час технічного радіоконтролю можуть вимірюватися такі параметри радіовипромінювання:

- несуча частота;
- ширина займаної смуги частот;
- рівні сигналу та напруженості електромагнітного поля;

Несуча частота може визначатися методами спектрального аналізу або як середня частота спектра випромінювання.

Ширина займаної смуги частот визначається методом за критерієм X дБ на рівні мінус 25 дБ.

### 8.13 Системи, що використовують сигнали з розширенням спектра

#### 8.13.1 Загальні відомості про системи, що використовують сигнали з розширенням спектра

Нині в залежності від сфери застосування в науково-технічній літературі використовують декілька визначень терміну „широкосмуговий сигнал”, зокрема, інколи широкосмуговим називають сигнал, база  $B$  якого, визначена за формулою

$$B = \Delta f \times \tau_n, \quad (8.28) \text{ де } \Delta f - \text{ширина спектра сигналу;}$$

$\tau_n$  - тривалість сигналу, значно більша ( $B \gg 1$ ).

У [172, U2J наведено визначення широкосмугового радіотехнічного сигналу, як сигналу, „в якого середня частота займаної частотної смуги сумірна із цією смугою”.

Але за даного визначення мова очевидно йде, переважно, про імпульсні сигнали, які використовуються в радіолокації, тому застосування цього визначення для сучасних радіотехнологій, випромінювання в яких являють собою безперервні або квазібезперервні коливання, неможливе. Крім того, говорити про „сумірність” ширини спектра частот сигналу з несучою частотою, наприклад, для сигналів систем стандартів GSM-900 або CDMA-800 (відношення ширини спектра частот до значення несучої частоти для яких становить відповідно 0,03 % та 1,5 %) також некоректно, хоча, ці радіотехно-логії прийнято відносити до широкосмугових.

Уважається досить обґрунтованим застосування для характеристики широкосмуговості сигналу дещо іншого критерію, а саме, *під широкосмуговими мати на увазі сигнали, ширина спектра частот яких значно більша мінімальної ширини спектра, що фактично необхідна для передавання інформації*<sup>1)</sup>. Таке визначення досить точно характеризує широкосмуговість сигналів, наприклад, систем стандартів GSM-900 і CDMA-800, оскільки,

Примітка 1. До речі, застосування терміну „широкосмуговий сигнал” для позначення сигналів, які використовуються в системах зв'язку, що віднесені в [19] до зазначеної категорії систем зв'язку, не зовсім коректне. Мова скоріше всього йде про системи, які використовують „сигнали з розширеним спектром” (*spread spectrum signals*). Але, враховуючи наведену в [19] класифікацію систем

зв'язку, вона буде використовуватися надалі. якщо для передавання інформації мовлення потрібна мінімальна ширина спектра частот 3,4 кГц, то за стандартом GSM для цього використовується радіосигнал із шириною спектра 271 кГц, а за стандартом CDMA-800 - 1,23 МГц. Методи, які застосовують для „розширення” спектра частот будуть розглянуті далі. До класу систем, які використовують сигнали з розширенням спектра, відноситься досить велика кількість радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, які нині поширені в Україні та у світі.

Типовою формою організації систем широкосмугового радіодоступу, які іноді також називають системами абонентського радіодоступу, є мережі радіодоступу. Під мережею радіодоступу мається на увазі радіально-зонова мережа радіозв'язку, призначена для надання послуг зв'язку з якістю, що не поступається якості передавання проводимими мережами.

Загальна структура організації мережі (системи) радіодоступу зображена на рис. 8.68.

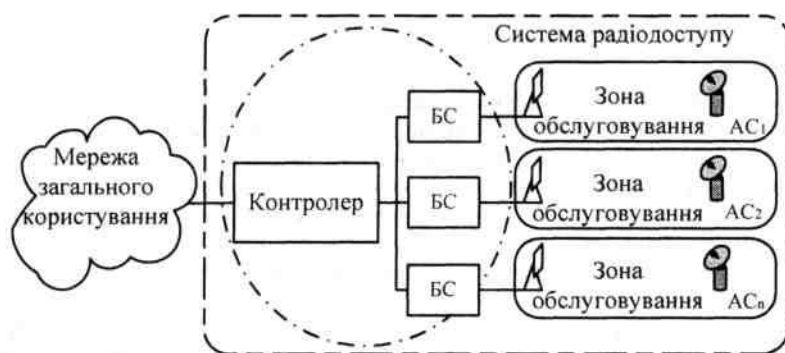


Рис. 8.68. Загальна структура мережі (системи) радіодоступу

До складу мережі входять базові станції (БС), комутаційне обладнання (контролер), допоміжні технічні засоби та ПЗ, за допомогою яких формується зона обслуговування, а також абонентські станції (АС).

Контролер керує доступом безлічі абонентів даної мережі зв'язку до мережі загального користування, забезпечуючи тим самим зв'язок з потрібними абонентами. Базові станції за допомогою антенних систем створюють зони радіодоступу в межах яких забезпечують надання послуг зв'язку (звичайного радіозв'язку, IP-телефонії, радіо- та телевізійного мовлення тощо).

Для оцінювання якості функціонування мережі радіодоступу застосовуються такі зовнішні показники, як пропускна здатність каналу та мережі зв'язку, швидкість передавання інформації в радіоканалі, максимальна дальність зв'язку за заданими показниками якості послуг зв'язку та, безпосередньо, показники якості послуг зв'язку. Але найповнішою характеристикою організації мережі зв'язку вважається коефіцієнт ефективності використання частотно-територіального ресурсу, а для застосованого сигналу - спектральна ефективність сигналу.

Коефіцієнт ефективності використання частотно-територіального ресурсу  $\eta$  характеризує питому пропускну здатність мережі за умови використання різних видів ресурсів

$$\eta = \frac{K_{\mu} N_f T_{ж}}{S \Delta F \Delta T}, \quad (8.29)$$

де- коефіцієнт повторення частот;

площа зони обслуговування; - кількість номіналів частот;

- ширина смуги частот;
- - тривалість зайнятості каналу;

$K_{\Pi}$

$S$  -

$N_f$  -

$\Delta F$

$T_{3K}$

$\Delta T$  - загальна тривалість існування каналу.

Спектральна ефективність сигналу у визначається за формулою

$$\gamma = \frac{V}{\Delta F_{-20}}, \quad (8.30)$$

де  $V$  – швидкість передавання інформації;

$F_{-20}$  - ширина смуги частот радіосигналу на рівні мінус 20 дБ.

До категорії систем широкосмугового (абонентського) радіодоступу відносяться [19, 111, 112, 168]:

1) локальні мережі безпроводового радіодоступу WLAN (Wireless Local Access Network);

2) персональні безпроводові мережі WPAN (Wireless Personal Access (Area) Network);

3) мережі широкосмугового міського безпроводового радіодоступу BWA (Broadband Wireless Access) або WMAN (Wireless Metropolitan Access Network).

### 8.13.2 Локальні мережі безпроводового радіорадіодоступу WLAN

#### 8.13.2.1 Загальні відомості про локальні мережі безпроводового радіодоступу WLAN

До категорії мереж локального безпроводового радіодоступу WLAN відносяться мережі стандартів Wi-Fi IEEE 802.11a/b/g, призначені для забезпечення доступу до телекомунікаційних мереж на обмеженій території або всередині приміщень (у даному випадку термін Wi-Fi (Wireless Fidelity) позначає високу точність відтворення з використанням безпроводових радіо-технологій), а також високопродуктивні мережі локального доступу HiperLAN (High Performance Radio Local Area Network) і HiperLAN 2. Іноді до мереж безпроводового радіодоступу WLAN відносять також системи вдосконаленого цифрового безпроводового зв'язку стандарту DECT, розглянуті раніше.

Радіодоступ до телекомунікаційних мереж організується через загальнодоступні (публічні) точки доступу AP (Access Point або Hot Spot). Під телекомунікаційними мережами маються на увазі системи проводового доступу загального користування (СПД ЗК), а також корпоративні та домашні безпроводові комп'ютерні мережі WLAN. Загальна структура мережі WLAN стандарту IEEE 802.11 зображена на рис. 8.69.

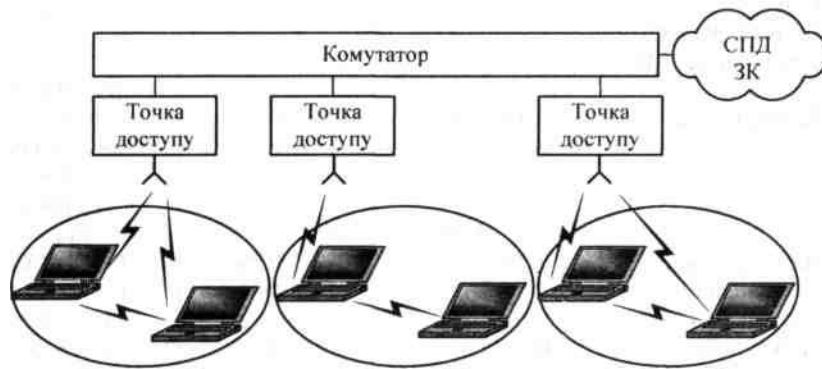


Рис. 8.69. Загальна структура мережі WLAN стандарту IEEE 802.11

Точки доступу забезпечують взаємодію абонентських станцій через радіоінтерфейс стандарту IEEE 802.11 з мережею передавання даних загального користування за одним із протоколів. Зв'язок між окремими пристроями здійснюється лише через точки доступу, які в загальному випадку формуються на базі абонентських станцій і служать безпроводовим мостом, за допомогою якого пристрої підключаються через комутатор до загальної мережі. Для виключення ситуацій, пов'язаних із так званими „прихованими” станціями, застосовується механізм CSMA/CA.

Основні технічні параметри та характеристики систем широкосмугового радіодоступу стандартів IEEE 802.11a/b/g наведені в табл. 8.33 [111, 112, 168, 114, 169, 170].

Технологія Wi-Fi призначена для забезпечення зв'язку та високошвидкісного (до 54 Мбіт/с) передавання даних на обмеженій території та всередині приміщень. За цими стандартами застосовують такі режими роботи (методи розширення спектра):

- з використанням стрибкоподібної псевдовипадкової зміни частоти FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum);
- прямого розширення спектра DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum);
- мультиплексування з ортогональним розділенням несучих частот OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing);
- двійкового згорткового кодування пакетів PBCC (Packed Binary Convolutional Coding).

Таблиця 8.33 - Основні технічні параметри та характеристики систем широкого діапазону радіодоступу стандартів IEEE 802.11a/b/g

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики		
	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
Діапазон частот, ГГц	від 5,15 до 6,425	від 2,4 до 2,4835	
Ширина робочої смуги частот, МГц	22		22
Режим роботи	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM, PBCC, DSSS – OFDM
Вид модуляції та швидкість передавання даних, Мбіт/с	6; 9 – BPSK 12; 18 – QPSK 24; 36 – 16-QAM 48; 54 і 108 – 64-QAM	1 – DBPSK 2 – DQPSK 5,5; 11 і 22 – CCK, PBCC	1 – DBPSK 2 – DQPSK 5,5 і 11 – CCK, PBCC 6 і 9 – BPSK 12 і 18 – QPSK 24 і 36 – 16-QAM 48; 54 і 108 – 64-QAM 22 і 33 – PBCC
Радіус дії в закритих (відкритих) приміщеннях	до 12 м (30 м) для швидкості 54 Мбіт/с; до 90 м (300 м) для швидкості 6 Мбіт/с	до 30 м (120 м) для швидкості 11 Мбіт/с; до 90 м (460 м) для швидкості 1 Мбіт/с	до 12 м (30 м) для швидкості 54 Мбіт/с; до 120 м (460 м) для швидкості 1 Мбіт/с
Максимальна потужність, мВт	від 40 до 800 (в залежності від смуги частот)	100	250

Смуги частот, які передбачені для використання стандартом IEEE 802.11a, відносяться до категорії частот, що не потребують ліцензування - U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) в США та країнах, які прийняли правила використання спектра типу FCC (Federal Communication Commission) на безліцензійній основі.

Для діапазону U-NII 1 визначена смуга частот від 5,15 ГГц до 5,25 ГГц, діапазон U-NII 2 розташований поруч і відповідає смузі частот від 5,25 ГГц до 5,35 ГГц, діапазон U-NII 3 займає смугу частот від 5,725 ГГц до 5,825 ГГц. Нумерація каналів починається з частоти 5,000 ГГц із кроком 5,000 МГц. Такий спосіб позначення каналів визначає схему їхнього нумерування, яка дозволяє охопити всі частоти діапазону 5 ГГц, які коли-небудь будуть використані WLAN.

Розподіл каналів в діапазоні U-NII 3 зображений на рис. 8.70.

Рис. 8.70. Розподіл каналів для систем стандарту IEEE 802.11a у смузі частот від 5,725 МГц до 5,825 МГц

Для систем стандарту IEEE 802.11a безпосередньо виділені дві смуги частот від 5,15 МГц до 5,35 МГц і від 5,725 МГц до 5,825 МГц. Причому смуга частот від 5,15 МГц до 5,35 МГц поділена на 8 каналів, які не перекриваються (рис. 8.71).

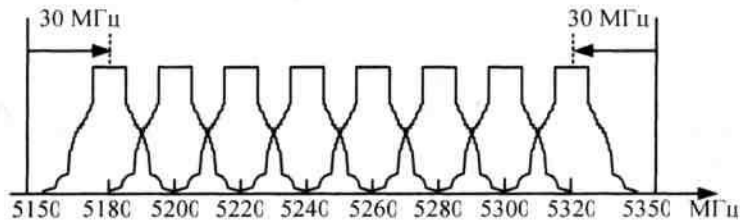


Рис. 8.71. Розподіл каналів для систем стандарту IEEE 802.11a у смузі частот від 5,15 МГц до 5,35 МГц

В частині 15.407 документу CFR47 визначені вимоги до рівнів побічних радіовипромінювань усіх трьох діапазонів U-NII.

Для діапазону U-NII 1 рівень ефективної ізотропно випромінюваної потужності (*e.i.v.n.*) за межами смуги частот від 5,15 ГГц до 5,35 ГГц повинен бути не більшим мінус 27дБм/МГц, а передавання повинно здійснюватися лише в межах приміщень із застосуванням вбудованої антени.

Конструктивно радіостанції для діапазону U-NII 2 реалізуються опціонально і для них застосовуються ті ж правила, але допускається використання інших типів антен. При цьому значення *e.i.v.n.* за межами визначеного для U-NII 2 діапазону частот не повинно перевищувати рівень мінус 27 дБм/МГц.

Для діапазону U-NII 3 значення *e.i.v.n.* за межами його робочої смуги частот не повинно бути більшим рівня мінус 17дБм/МГц, крім того, на частотному рознесенні 10 МГц від країв діапазону рівні побічних випромінювань не повинні перевищувати значення мінус 27 дБм/МГц.

Стандартом IEEE 802.11a визначено такі обмеження щодо випромінюваної потужності обладнання в діапазонах частот U-NII:

- в діапазоні U-NII 1 можна використовувати передавачі із рівнем вихідної потужності до 40 мВт (16дБм) і антену з коефіцієнтом підсилення до 6 дБі та максимальним рівнем *e.i.v.n.* 22 дБм;

- в діапазоні U-NII 2 дозволено використовувати передавачі із рівнем вихідної потужності до 200 мВт (23 дБм) і антену з коефіцієнтом підсилення до 6 дБі з максимальним рівнем *e.i.v.n.* 29 дБм;

- в діапазоні U-NII3 можна використовувати передавачі із рівнем вихідної потужності до 800 мВт (29 дБм) і антену з коефіцієнтом підсилення до 6 дБі з максимальним рівнем *e.i.v.n.* 35 дБм.

Для всіх діапазонів повинна виконуватися умова: зі збільшенням коефіцієнта підсилення антени на 1 дБ (від рівня 6 дБі) рівень випромінюваної потужності передавача повинен зменшуватися на 1 дБ. У разі роботи в діапазоні U-NII3 можна використовувати антену з коефіцієнтом підсилення 23 дБі без зменшення потужності передавача, але лише у фіксованих каналах „пункт-пункт”, при цьому максимальне значення *e.i.v.n.* може досягати рівня 52дБм.

Маска спектра випромінюваного сигналу для стандарту IEEE 802.11a наведена на рис. 8.72 для такого режиму вимірювання:

- 1) ширина смуги пропускання за ПЧ - 100 кГц;
- 2) смуга огляду - 100 МГц;
- 3) ширина смуги частот відеофільтра - 30 кГц.

Ширина смуги частот одного каналу за стандартом IEEE 802.11a на рівні мінус 20 дБ становить 20 МГц, а на рівні мінус 28 дБ - 40 МГц, що може призвести до

появи радіозавад у сусідніх каналах.

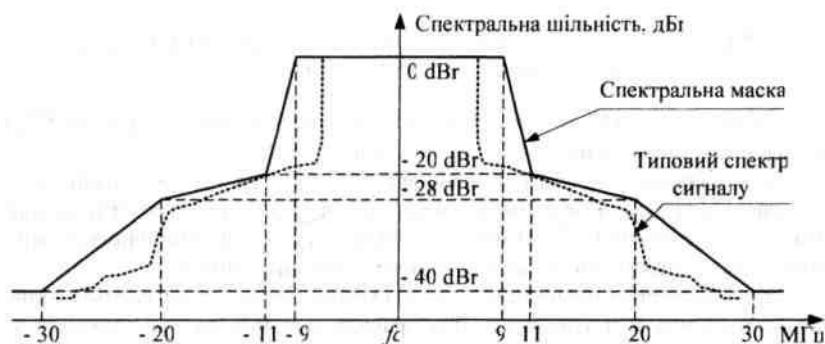


Рис. 8.72. Маска спектра сигналу для стандарту IEEE 802.11a

На відміну від стандарту IEEE 802.11b у стандарті IEEE 802.11a застосовується метод кодування OFDM, у результаті чого кожний пакет

передається на 52 ортогональних несучих частотах (із них 48 несучі частоти призначені для передавання інформації та 4 частоти - для пілот-сигналів). Ширина спектра сигналу на кожній несучій частоті становить 312,5 кГц (20 МГц/64).

Символи OFDM передаються через кожні 4 мс, при цьому кожному символу тривалістю 3,2 мкс передуює захисний інтервал тривалістю 0,8 мкс, протягом якого передається частина символу, що повторюється. Захисний інтервал потрібен для врахування затримки радіосигналів через багатопроменеове поширення радіохвиль - сигнал, що надійшов із затримкою в часі попадає до захисного інтервалу й не пошкоджує наступний (корисний) сигнал. Стандарт IEEE 802.11a допускає три рівні випромінювання передавача в залежності від робочої смуги частот. Максимальна вихідна потужність передавача становить:

- 40 мВт (2,5 мВт/МГц) - у смузі частот від 5,15 ГГц до 5,25 ГГц;
- 200 мВт (12,5 мВт/МГц) - у смузі частот від 5,25 ГГц до 5,35 ГГц;
- 800 мВт (50 мВт/МГц) - у смузі частот від 5,725 ГГц до 5,825 ГГц.

Один з основних недоліків мереж стандарту IEEE 802.11a - це вища, порівняно з мережами стандартів IEEE 802.11 b/g, щільність розгортання обладнання, зумовлена більшим затуханням сигналів у діапазоні радіочастот 5 ГГц.

Стандарт IEEE 802.11g за своєю суттю представляє перенесення схеми модуляції OFDM із діапазону частот 5 ГГц до діапазону 2,4 ГГц зі збереженням функціональності засобів стандарту IEEE 802.11b. Останнє забезпечується завдяки практично однаковим значенням ширини смуги частот одного каналу в діапазонах 2,4 ГГц (22 МГц на рівні мінус 20 дБ) і 5 ГГц (22 МГц на рівні мінус 30 дБ).

Процес перетворення вихідної інформаційної послідовності в радіосигнал за стандартом IEEE 802.11b полягає в такому:

1) спочатку здійснюється модуляція інформаційної послідовності символів 11-ти позиційним кодом Баркера, під час якої кожний символ замінюється прямою або інверсною послідовністю з 11 чіпів;

2) далі чіпова послідовність двополярних імпульсів, з метою формування комплексного ВЧ сигналу зі своєю амплітудою та фазою, кодується із застосуванням одного з таких видів модуляції:

- DBPSK або DQPSK - у разі загальної швидкості передавання 1 Мбіт/с або 2 Мбіт/с;



-ССК - зі швидкостями передавання 5,5 Мбіт/с або 11 Мбіт/с (до речі: застосування модуляції РВСС здатне забезпечити швидкість передавання 5,5 Мбіт/с, 11 Мбіт/с або 22 Мбіт/с, але нині цей вид модуляції, на жаль, не знайшов широкого поширення);

3) на останньому етапі комплексний ВЧ сигнал модулюється шляхом застосування методу прямого розширення спектра DSSS.

Загальні відомості щодо фізичного рівня стандартів IEEE 802.11 b/g, які ґрунтуються на застосуванні методу DSSS, наведені в табл. 8.34.

Таблиця 8.34 - Загальні відомості щодо фізичного рівня стандартів IEEE 802.11b/g із застосуванням методу прямого розширення спектра DSSS

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики
Діапазон частот, МГц	від 2400 до 2483,5
Номинальні значення несучих частот, МГц	$2412 + 5N, N = 0, \dots, 12$
Кількість каналів	13
Швидкість модуляції, Мбод	1
Коефіцієнт розширення спектра	11
Смуга частот, МГц, на рівні:	
- мінус 20 дБ	16
- мінус 30 дБ	22
- мінус 40 дБ	44
Вид послідовності розширення спектра	код Баркера 10110111000
Відношення сигнал/шум при $BER = 10^{-5}$ , дБ	17
Вибірковість за сусіднім каналом, дБ	37
Чутливість при $BER = 10^{-5}$ , дБм	мінус 80
Вид протоколу доступу	CSMA/CA

Маска спектра випромінюваного сигналу для стандарту IEEE 802.11b наведена на рис. 8.73 для такого режиму вимірювання:

- 1) ширина смуги пропускання за ПЧ - 100 кГц;
- 2) смуга огляду - 100 МГц;
- 3) ширина смуги частот відеофільтра - 100 кГц.

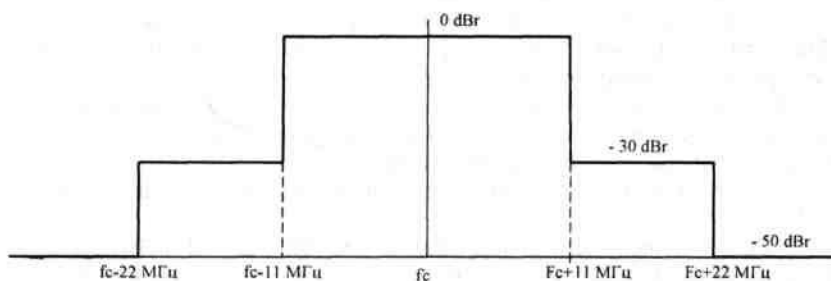


Рис. 8.73. Маска спектра сигналу для стандарту IEEE 802.11b

Загальний принцип розподілу каналів для стандарту IEEE 802.11b наведений на рис. 8.74.

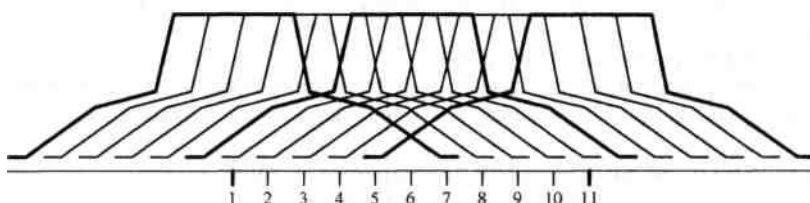


Рис. 8.74. Загальний принцип розподілу каналів за стандартом IEEE 802.1 lb

Внаслідок застосування в мережах стандартів IEEE 802.11 протоколу доступу CSMA/CA можуть виникати конфліктні ситуації між пристроями стандартів IEEE 802.1 lb і IEEE 802.1 lg, якщо під час роботи останніх у їхній зоні обслуговування з'являться пристрої стандарту IEEE 802.11b та ініціюють роботу з ними. Це може призвести до порушення сеансу зв'язку між пристроями стандарту IEEE 802.1 lg. Для запобігання такій ситуації передбачена можливість роботи у змішаному режимі - CCK-OFDM.

Інформація в мережах стандартів IEEE 802.11 передається кадрами. Кожний інформаційний кадр містить два основних поля: преамбулу із заголовком та інформаційне поле. Структура кадрів стандарту IEEE 802.11 g наведена на рис. 8.75. Вона передбачає можливість застосування з метою усунення конфліктних ситуацій різних методів модуляції, зокрема, комбінації таких видів модуляції, як OFDM, CCK, PBSS.

Преамбула (заголовок)	Інформаційне поле	
OFDM	OFDM	Обов'язкова
CCK	CCK	Обов'язкова
CCK	OFDM	Можлива
CCK	PBSS	Можлива

Рис. 8.75. Структура кадрів стандарту IEEE 802.1 lg

Загальні відомості щодо фізичного рівня стандартів IEEE 802.11 b/g із застосуванням методу FHSS наведені в табл. 8.35.

Для систем стандартів IEEE 802.11 b/g в Україні виділена смуга частот від 2400 МГц до 2483,5 МГц, а для систем стандарту IEEE 802.11a -- смуга частот від 5725 МГц до 5825 МГц [19].

Стандарт на високопродуктивну локальну мережу HiperLAN передбачає реалізацію таких базових вимог:

- високошвидкісне передавання даних;
- забезпечення зв'язку за рахунок підключення до телекомунікаційних мереж;
- автоматичний розподіл частот;
- підтримку функцій якості обслуговування QoS, конфіденційності зв'язку, відповідності структури мережі поставленим завданням тощо.

Таблиця 8.35 - Загальні відомості щодо фізичного рівня стандартів IEEE 802.1 lb/g із застосуванням методу FHSS

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики
Діапазон частот, МГц	від 2400 до 2483,5
Номінальні значення несучих частот, МГц	$2402 + N$ , $N = 0, \dots, 78$
Кількість каналів	79
Потужність випромінювання, дБм	10 – 20
Швидкість модуляції, Мбод	1
Смуга частот, МГц, на рівні: - мінус 20 дБ - мінус 30 дБ - мінус 40 дБ	1 1,5 3
Смуга частот, МГц, на рівні: - мінус 20 дБ - мінус 30 дБ - мінус 40 дБ	1 1,5 3
Коефіцієнт розширення спектра	11
Вид послідовності розширення спектра	псевдовипадкова за стандартом IEEE 802.11
Вид модуляції	GFSK-2 BT = 0,5; GFSK-4
Відношення сигнал/шум при BER = $10^{-5}$ , дБ	19
Швидкість передавання інформації в каналі, Мбіт/с	1
Мінімальна девіація частоти, кГц	160
Кількість стрибкоподібних змін частоти за секунду, не менше	2,5
Чутливість при BER = $10^{-5}$ , дБм	мінус 80
Вид протоколу доступу	CSMA/CA

Згідно з початковим проектом, стандарт HiperLAN передбачав охоплення чотирьох специфікацій - HiperLAN 1, 2, 3, 4. Але нині поширення набули лише системи специфікацій HiperLAN 1 (її ще називають HiperLAN) та HiperLAN 2

Система HiperLAN являє собою високопродуктивну локальну обчислювальну мережу, що забезпечує надання доступу до телекомунікаційних мереж низькошвидкісним абонентам (зі швидкістю руху до 10 км/год) на відстанях до 50 м. Її використання не має потреби в частотному плануванні через те, що частоти для кожної базової станції розподіляються автоматично за рахунок застосування функції динамічного зайняття частоти (DFS, Dynamic Frequency Secure). Призначення радіочастот ґрунтується на вимірюванні рівнів радіозавад і виконується для кожної базової станції. Адаптація радіоканалу базується на вимірюванні параметрів, які характеризують якість лінії, і здійснюється шляхом вибору параметрів модуляції та кодування, рівня потужності, значення частоти, а також просторової селекції за рахунок використання багатопроменевих антен.

Нижній (фізичний) рівень мережі стандарту HiperLAN визначає вимоги до модуляції/демодуляції несучих частот, синхронізації передавачів і приймачів, а також до механізмів корекції помилок, вимірювання інтенсивності сигналу та прослуховування каналу. Основні параметри та характеристики мереж стандартів HiperLAN і HiperLAN 2 наведені в табл. 8.36.

**Таблиця 8.36 - Базові параметри та характеристики мереж стандартів HiperLAN і HiperLAN 2**

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики	
	HiperLAN	HiperLAN 2
Робоча смуга частот, ГГц	від 5,470 до 5,725; 17	від 5150 до 5350 від 5670 до 5850
Вид модуляції сигналу	GMSK, FSK	BPSK, OFDM
Вид доступу	CSMA/CA	TDMA/TDD
Кількість доступних каналів		15
Кількість абонентів на канал		64
Метод розширення спектра		FHSS
Реальна швидкість передавання даних, Мбіт/с	18	42
Швидкість передавання даних на фізичному рівні, Мбіт/с	23	54
Вихідна потужність радіосигналу	1 Вт	200 мВт
Тривалість кадру, мс	2	

За специфікацією HiperLAN визначені три обов'язкові значення несучої частоти та два можливі. Обов'язкові несучі частоти мають значення:

За специфікацією HiperLAN визначені три обов'язкові значення несучої частоти та два можливі. Обов'язкові несучі частоти мають значення:  $f_1=5,1764680$  ГГц;  $f_2=5,1999974$  ГГц;  $f_3=5,2235268$  ГГц.

Додаткові частоти, які можуть використовуватися не у всіх країнах, такі:

»  $5,2470562$  ГГц;  $-f_3$ ;  $-f_4 = 5,2705856$  ГГц.

Ширина смуги частот у разі використання зазначених несучих частот становить 23 МГц. Швидкість передавання даних в мережах HiperLAN досягає 23,5 Мбіт/с.

Специфікація HiperLAN 2 визначає структуру системи доступу до стаціонарних автоматичних телефонних мереж для низькошвидкісних абонентів. Дальність зв'язку не перевищує 100 м. Стандарти HiperLAN 2 і IEEE 802.11a мають типову топологію та співпадають за параметрами фізичного рівня, але відрізняються на рівні MAC. Перевага систем HiperLAN 2 полягає в їхній можливості взаємодії з іншими високошвидкісними мережами, в тому числі, з мережами стільникового мобільного зв'язку покоління 3G. Специфікацією HiperLAN 2 визначені вимоги до фізичного рівня системи з використанням виду модуляції OFDM, за якими передбачена можливість використання швидкостей передавання даних на рівні 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 або 54 Мбіт/с.

### 8.13.2.2 Особливості радіомоніторингу в смугах частот роботи систем безпроводового радіодоступу WLAN

До основних особливостей організації мереж зв'язку систем безпроводового радіодоступу WLAN можна віднести:

1) малі розміри зон радіопокриття (радіообслуговування) локальних мереж безпроводового радіодоступу стандартів IEEE 802.11a/b/g - одиниці -сотні метрів;

2) значна ширина спектра частот радіовипромінювань РЕЗ у мережах безпроводового радіодоступу стандартів IEEE 802.11a/b/g - (20 - 22) МГц;

3) низькі рівні та щільність потоку потужності сигналів, що приймаються, зумовлені низькими рівнями вихідної потужності передавачів;

4) застосування методу просторового ущільнення (SDM) за рахунок використання направлених антен, що зумовлено можливою наявністю в певному пункті випромінювань на одній частоті від великої кількості каналів зв'язку мереж різних

операторів;

5) неможливість ідентифікації радіовипромінювань щодо їхньої належності мережам зв'язку різних операторів класичними засобами радіомоніторингу (технічного радіоконтролю).

Крім того, треба відмітити особливості застосування мереж стандартів IEEE 802.11a/b/g в США та країнах Європи:

1) смуги частот від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц (для роботи РЕЗ стандартів IEEE 802.11b/g), від 5,15 ГГц до 5,25 ГГц і від 5,725 ГГц до 5,825 ГГц (для роботи РЕЗ стандарту IEEE 802.11a) виділені для експлуатації засобів зв'язку на безліцензійній (бездозвільній) основі; 2) мережі застосовуються з метою забезпечення відомчого (офісного) або технологічного зв'язку, а не для надання послуг населенню.

У зв'язку із цим здійснення моніторингу в смугах частот, виділених для систем безпроводового радіодоступу WLAN стандартів IEEE 802.11a/b/g, вважається недоцільним і неможливим.

Технічний радіоконтроль параметрів випромінювання РЕЗ систем безпроводового радіодоступу стандартів IEEE 802.11a/b/g може бути організований:

- на підставі планових і (чи) позапланових завдань;
- за заявами користувачів РЧР щодо наявності радіозавад;
- в процесі проведення дослідних випробувань нових зразків обладнання цих стандартів зв'язку та радіоконтрольного обладнання, а також із метою опрацювання методик їхнього застосування.

Виявлення випромінювання передавачів стандартів IEEE 802.11a/b/g може бути реалізовано із застосуванням *портативних засобів* радіоконтролю, і, як виняток - із застосуванням *мобільних засобів* радіомоніторингу, шляхом пошуку радіовипромінювань або за заявами користувачів РЧР щодо наявності радіозавад у певних місцях.

З точки зору технічного забезпечення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання пристроїв безпроводового радіодоступу до телекомунікаційних мереж стандартів IEEE 802.11a/b/g у частині визначення MAC адреси та *ідентифікації* користувачів РЧР, то він може бути реалізований за допомогою використання:

- безпроводових мережевих PCI адаптерів стандартів IEEE 802.11a/b/g;
- безпроводових мережевих інтерфейсних PC карт (Network Interface Card, NIC);
- спеціалізованого обладнання радіомоніторингу мереж WLAN, наприклад, комплекту обладнання виробництва компанії AARONIA - EtherScore.

Під час технічного радіоконтролю може проводитися інструментальне оцінювання таких параметрів радіовипромінювання:

- частота чи номер каналу;
  - рівень сигналу, що приймається,
- а також визначення MAC адреси (із застосуванням спеціалізованого обладнання радіоконтролю мереж WLAN).

Частота може бути визначена як середнє значення ширини займаної смуги частот, яка, у зв'язку з надто низьким рівнем сигналу, не вимірюється, а оцінюється на можливому довільному рівні (наприклад, на рівні мінус бдБ).

Рівень сигналу може бути визначений із застосуванням пікового чи максимально пікового детектора.

Для пошуку передавачів безпроводового радіодоступу до телекомунікаційних

мереж стандартів IEEE 802.11a/b/g, визначення місцезнаходження та інструментального оцінювання частоти, ширини займаної смуги частот і рівня сигналу, що приймається, також можуть бути використані портативні приймачі типу EB-200 та аналізатори спектра типів FSH3, FSH18, FS300, FSP-30, U3772 із використанням направлених антен для цього діапазону.

### 8.13.3 Локальні мережі безпроводового радіодоступу WPAN

До класу персональних безпроводових широкосмугових мереж WPAN відносяться мережі з дуже малим радіусом дії (як правило, не більше 15 м), які відповідають сімейству стандартів IEEE 802.15. Радіотехнології цього класу призначені для створення простих мереж типу „пункт-пункт" між електронними засобами споживачів (комп'ютерна та оргтехніка, цифрові камери тощо), які не обов'язково повинні бути розташовані в зоні прямої видимості.

Сімейство стандартів IEEE 802.15 включає [111,112, 168]:

- стандарт IEEE 802.15.1 (ґрунтується на специфікації Bluetooth v. 1.1, яка визначає пакетний спосіб передавання інформації з часовим мультиплексуванням);
- стандарт IEEE 802.15.2 (для забезпечення взаємодії обладнання стандартів IEEE 802.11 та IEEE 802.15);
- стандарт IEEE 802.15.3 (для забезпечення високошвидкісного передавання даних у пікомережах масштабу WPAN з радіусом дії до 10 м);
- стандарт IEEE 802.15.4 (для забезпечення низькошвидкісного передавання даних в мережах WPAN).

До класу мереж WPAN також відносять мережі стандарту HomeRF (за назвою робочої групи виробників комп'ютерного та побутового обладнання Home Radio Frequency Working Group), які іноді також називають ZigBee. За основу стандарту HomeRF був узятий відкритий протокол розподіленого безпроводового радіодоступу SWAP (Shared Wireless Access Protocol).

Системи Bluetooth відносяться до новітніх радіотехнологій малого радіусу дії (SRD, Short Range Devices) і розроблені для застосування в глобально гармонізованих смугах радіочастот від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц. РЕЗ Bluetooth забезпечують швидкість передавання інформації в каналі 720 кбіт/с, що достатньо для низькошвидкісного зовнішнього та внутрішньоофісного застосувань. Система Bluetooth дозволяє об'єднувати в пікомережі до восьми пристроїв. Довжина радіолінії складає від 0,1 м до 10 м (до 100 м за вихідної потужності 100 мВт) для Bluetooth та від 15 м до 50 м для HomeRF.

Мережі радіоінтерфейсів Bluetooth використовують метод розширення спектра із застосуванням стрибкоподібної зміни частоти FHSS (79 фізичних каналів у Європі та США) з рознесенням між несучими частотами 1 МГц і швидкістю перестроювання частоти 1600 змін/с. Тривалість передавання на одній частоті кратна 0,625 мс. Для розділення мереж використовується різні послідовності перестроювання частоти. Мінімальна швидкість передавання в каналі „базова станція - абонентська станція" становить 108,2 кбіт/с, максимальна - 721,0 кбіт/с, у зворотному каналі - від 57,5 кбіт/с до 432,6 кбіт/с.

Застосування стрибкоподібної зміни частоти FHSS забезпечує конфіденційність та деяку завадозахищеність передавання, оскільки в разі втрати якогось пакета приймач повідомляє про це й передавання цього пакета повторюється на одному з наступних підканалів, але вже на іншій несучій частоті.

Для модуляції сигналу застосовується бінарна гаусівська частотна маніпуляція GFSK-2 з  $BT = 0,5$ , в якій двійкова „1” представлена додатнім відхиленням від центральної частоти, а двійковий „0” - від'ємним.

Протокол Bluetooth підтримує з'єднання „пункт-пункт” або „пункт-багато пунктів”. Два чи більше працюючих пристроїв Bluetooth створюють пікомережу, при цьому один пристрій працює як основний (*master*), а інші - як підпорядковані (*slaves*). В одній пікомережі може працювати до семи активних підпорядкованих пристроїв. При цьому підпорядковані пристрої можуть працювати в кількох мережах. Пікомережі не синхронізовані одна з одною - кожна використовує свою послідовність змін частоти.

У стандарті Bluetooth використовується часове дуплексне розділення каналів (TDD), за якого основний пристрій передає пакети даних  $f(k)$  у непарні часові сегменти, а підпорядкований пристрій - у парні. В залежності від довжини пакети можуть займати до п'яти часових сегментів.

Протокол Bluetooth може також підтримувати асинхронний канал передавання даних, або до трьох синхронних каналів мовлення, або канал з одночасним асинхронним передаванням даних та синхронним передаванням мовної інформації. Синхронне передавання можливе лише в режимі „пункт-пункт”, за умови, коли інформація чутлива до часу затримки (у разі передавання сигналів мовлення). Часова діаграма роботи каналу Bluetooth наведена на рис. 8.76.



Рис. 8.76. Часова діаграма роботи каналу Bluetooth

Основні параметри обладнання WPAN стандартів Bluetooth і HomeRF наведені в табл. 8.37.

В засобах Bluetooth застосовуються сигнали з класом радіовипромінювання *1M00F7D*. Ширина смуги частот становить:

- 220 кГц на рівні мінус 3 дБ;
- 1 МГц на рівні мінус 20 дБ.

В Україні для радіотехнології Bluetooth виділена смуга частот від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц.

Стандарт IEEE 802.15.3 описує роботу малої безпроводової системи

Таблиця 8.37- Базові параметри обладнання WPAN

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики	
	Bluetooth	HomeRF
Робоча смуга частот, МГц	від 2402 до 2480	від 2400 до 2483,5
Кількість радіоканалів	79	–
Номінальні значення несучих частот каналів, МГц	$F_o = 2402 + k$ , де $k = 0, \dots, 78$	–
Вид модуляції сигналу	дворівнева ЧМ	дворівнева чи чотирирівнева ЧМ
Вид доступу	TDD/TDMA	
Максимальна швидкість змін частоти за секунду	1600	50
Метод розширення спектра	FHSS	FHSS
Швидкість передавання даних, Мбіт/с	1	від 1 до 10
Вихідна потужність радіосигналу, мВт	від 0,25 до 2,5 (від 1 до 100 для окремих застосувань)	100
Довжина радіолінії	від 0,1 м до 10 м; до 100 м при $P_{\text{вих}} = 100$ мВт	від 15 м до 50 м

передавання інформації - пікомережі, в якій декілька незалежних пристроїв можуть безпосередньо взаємодіяти один із одним (рис. 8.77). При цьому один із цих пристроїв виконує функції управління (координатора) мережі (PNC, Piconet Coordinator). Радіус зони дії такої мережі, як правило, становить не більше 10 м. Стандарт передбачає можливість формування та забезпечення взаємодії між кількома незалежними сусідніми пікомережами.



Рис. 8.77. Структура пікомережі IEEE 802.15.3

Специфікація фізичного каналу в стандарті IEEE 802.15.3 передбачає п'ять допустимих швидкостей передавання (від 11 Мбіт/с до 55 Мбіт/с) із застосуванням для кожної швидкості свого типу модуляції (QPSK, DQPSK, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM). Швидкість 22 Мбіт/с відноситься до базової, тому її повинні підтримувати всі пристрої стандарту IEEE 802.15.3.

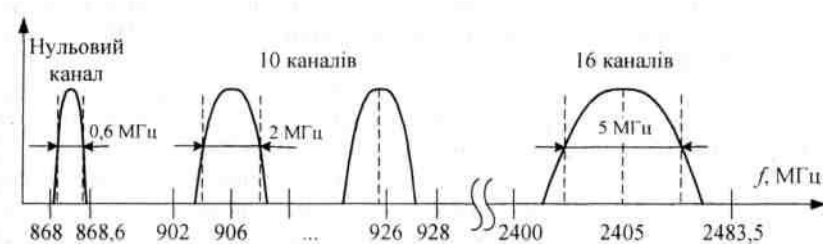
За стандартом IEEE 802.15.3 необхідно, щоб пристрої могли працювати в будь-якому з п'яти можливих частотних каналів зі значеннями центральних частот: 2412 МГц, 2428 МГц, 2437 МГц, 2445 МГц, 2462 МГц.

Подальшим розвитком стандарту IEEE 802.15.3 став стандарт IEEE 802.15.3a, який ґрунтується на застосуванні технології багатосмугової (мультизмугової) OFDM - MB-OFDM (Multiband OFDM), суть якої полягає в розподілі всього дозволеного діапазону частот на смуги шириною 528 МГц. У стандартному режимі передбачено три такі смуги частот, у розширеному - сім. В кожній смузі частот виділяються 128 піднесучих частот, розташованих через 4,125 МГц, які модулюються за методом QPSK. Із 128 піднесучих частот використовується 122 частоти. Один символ OFDM містить 100 або 200 кодованих бітів. Символи прямують із періодом 312,5 нс.



Мультисмуговість означає, що кожний наступний символ передається в іншій частотній смузі за заздалегідь визначеною послідовністю для кожного логічного каналу. Послідовність переходу з однієї смуги до іншої називається частотно-часовим кодом.

Необхідність розробки низькошвидкісних безпроводових систем передавання інформації була зумовлена потребою користувачів мати максимально прості, дешеві пристрої з наднизьким споживанням електроенергії та простим механізмом підключення до мережі. Для виконання значної кількості завдань з автоматизації та збирання інформації взагалі не потребуються швидкості більші 20 кбіт/с. Системи стандарту низькошвидкісної безпроводової системи IEEE 802.15.4 можуть забезпечити передавання даних в діапазоні частот 2,4 ГГц зі швидкостями від 11 Мбіт/с до 55 Мбіт/с на відстані до 100 м. Розподіл каналів за стандартом IEEE 802.15.4 зображений на рис. 8.78.



8.78. Розподіл каналів за стандартом IEEE 802.15.4

Радіоінтерфейс IEEE 802.15.4 дозволяє використовувати 27 каналів: один канал із несучою частотою 868,3 МГц у смузі частот від 868,0 МГц до 868,6 МГц, десять каналів у смузі частот від 902,0 МГц до 928,0 МГц та 16 каналів у смузі частот від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц. Значення несучих частот каналів (у мегагерцах) в діапазонах частот 915 МГц і 2,4 ГГц визначаються за формулами відповідно:

$$(8.31) \quad \begin{aligned} f_{915} &= 906 + 2 \cdot (k - 1), \quad k = 1, 2, \dots, 10; \\ f_{2,4} &= 2405 + 5 \cdot (k - 11), \quad k = 11, 12, \dots, 26. \end{aligned} \quad (8.32)$$

Основні параметри та характеристики систем стандарту IEEE 802.15.4 наведені в табл. 8.38.

Таблиця 8.38

Назва параметра, характеристики	Значення параметра та тип характеристики в діапазоні частот		
	від 868 МГц до 868,6 МГц	від 902 МГц до 928 МГц	від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц
Швидкість передавання даних, кбіт/с	20	40	250
Символьна швидкість, ксимв./с	20	40	62,5
Чіпова швидкість, кчп/с	300	600	2000
Дальність зв'язку, м	до 20	до 20	до 20
Затримка, мс	до 15	до 15	до 15
Кількість каналів	1	10	16
Вид модуляції	BPSK	BPSK	o-QPSK
Доступ до каналу	CSMA/CA або слотований CSMA/CA		

Швидкість передавання даних динамічно змінюється від 20 кбіт/с до 250 кбіт/с. У залежності від діапазону частот і швидкості передавання даних застосовуються різні методи модуляції: в діапазонах 868 МГц і 915 МГц - BPSK, у діапазоні 2,4 ГГц - O-QPSK. На фізичному рівні в діапазонах частот 868 МГц і 915

МГц використовується пряме розширення спектра DSSS (15-ти позиційна М-послідовність).

У смузі частот від 902,0 МГц до 928,0 МГц крок сітки частот становить 2 МГц, ширина смуги частот одного каналу також становить 2 МГц. У діапазоні частот 2,4 ГГц ширина смуги частот дорівнює 5 МГц.

В діапазонах частот 868 МГц і 915 МГц здійснюється диференційне кодування. Після перетворення виконується двопозиційна фазова модуляція (BPSK) потоку даних. Форма імпульсу описується функцією „косинус на підставці”.

В діапазоні частот 2,4 ГГц потік не модульованих даних поділяється на групи із чотирьох бітів. Кожна група замінюється однією з 16 квазіортого-нальних послідовностей довжиною 32 біти (чіпи). Парні чіпи ортогональної послідовності (починаючи з нульового) модулюють синфазний канал ( $I$ ), непарні - квадратурний канал ( $Q$ ). В результаті чого послідовність у квадратурному каналі зсунута відносно синфазного каналу на період, що відповідає тривалості одного чіпа.

Радіус дії обладнання стандарту IEEE 802.15.4 не перевищує 75 м.

#### 8.13.4 Локальні мережі безпроводового радіодоступу WMAN

До класу РЕЗ локальних мереж безпроводового радіодоступу WMAN відносять засоби безпроводового доступу операторського класу, які базуються на застосуванні стандарту IEEE 802.16. Для його позначення часто використовується комерційна назва сімейства відкритих стандартів IEEE 802.16 для мереж фіксованого та рухомого безпроводового радіодоступу - WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Стандарт IEEE 802.16 включає до себе стандарти для фіксованого (IEEE 802.16-2004) і рухомого (IEEE 802.16e) радіодоступу. Ці стандарти доцільно розглядати як такі, яким відповідають дві різні технології, оскільки, крім радіоінтерфейсу, вони мають різний розмір стільників і забезпечують різні швидкості передавання даних. Для стандарту IEEE 802.16 передбачені смуги частот від 2 ГГц до 11 ГГц і від 10 ГГц до 66 ГГц.

Стандарт IEEE 802.16-2004 представляє собою радіотехнологію широ-космугового безпроводового радіодоступу операторського класу, призначену для упровадження в міських розподілених (регіональних) безпроводових мережах. Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI) прийнятий континентальний еквівалент стандарту IEEE 802.16, який позначається як ETSI HIPERMAN і являється європейською варіацією стандарту IEEE 802.16. Цей стандарт передбачає роботу в смузі частот від 2 ГГц до 11 ГГц і лише в одному з режимів - WirelessMAN-OFDM. Через особливості поширення радіохвиль у смузі частот від 10 МГц до 66 ГГц радіозв'язок у режимі WirelessMAN-SC можливий лише за наявності прямої видимості.

За стандартом IEEE 802.16-2004 передбачено п'ять режимів роботи, які відмічені в табл. 8.39.

Режим	Діапазон частот, ГГц	Метод дуплексу
WirelessMAN-SC	від 10 до 66	TDD/FDD
WirelessMAN-SCa	до 11	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDM	до 11	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDMA	до 11	TDD/FDD
WirelessHUMAN	до 11	TDD

Всі режими роботи в діапазоні частот до 11 ГГц відрізняються такими характерними рисами:

- застосування механізмів автоматичного запиту повторного передавання;
- просторово-часове кодування.

Структура взаємодії мереж зв'язку різних радіотехнологій безпроводового радіодоступу стандарту IEEE 802.16 наведена на рис. 8.79.

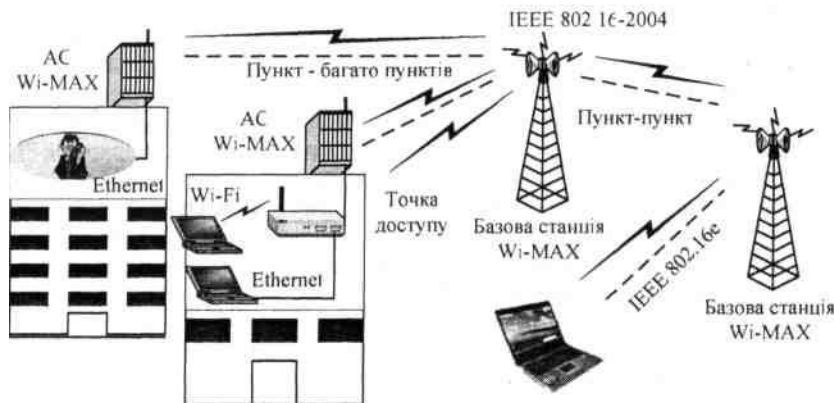


Рис. 8.79. Структура взаємодії мереж зв'язку різних радіотехнологій безпроводового радіодоступу

Режим WirelessMAN-SC зорієнтований лише на магістральні мережі („пункт-пункт“, „пункт-багато пунктів“) із типовою швидкістю 120 Мбіт/с та шириною смуги частот каналу 25 МГц. У цьому режимі використовується лише безпосередня модуляція несучої частоти. Радіоінтерфейс для цього діапазону частот ґрунтується на застосуванні методу доступу TDMA. Вибір типу розділення каналів (FDD, Frequency Division Duplex або TDD, Time Division Duplex) підтримується адаптивно й залежить від відстані до об'єкта. Обладнання стандарту IEEE 802.16 призначене для формування транспортного середовища для різних застосувань (послуг), тому головне завдання, що повинно вирішуватися цим стандартом - це підтримка різних послуг верхнього рівня. Алгоритми та механізми доступу рівня MAC повинні забезпечувати надання різних послуг великій кількості кінцевих користувачів: забезпечувати потоки інформації мовлення та даних із часовим розділенням, з'єднання за протоколом IP, пакетне передавання інформації мовлення через ГР (Voice over IP, VoIP) тощо.

У смузі частот від 2 ГГц до 11 ГГц підтримуються три специфікації радіоінтерфейсу, які забезпечують можливість зв'язку за умов багатопроменевого поширення радіохвиль та за відсутності прямої видимості: радіоінтерфейс WMAN-CS2, що використовує модуляцію однієї несучої частоти (із застосуванням одного з видів модуляції QPSK, 16-QAM, 64-QAM), WMAN-OFDM - використовує модуляцію OFDM (із ШПФ на 256 точок), WMAN-OFDMA - використовує модуляцію OFDMA (із ШПФ на 2048 точок).

Передавання даних за стандартом IEEE 802.16-2004 на фізичному рівні здійснюється у вигляді безперервної послідовності кадрів фіксованої довжини. Кожний кадр складається із двох субкадрів: одного для передавання на лінії „вниз“, другого - на лінії „вгору“. Дуплексний механізм передбачає як частотне (FDD), так і часове (TDD) розділення цих потоків. Для розділення абонентів під час передавання на лінії „вниз“ базова станція резервує часові або частотно-часові тайм-слоти для кожної абонентської станції. Основним принципом надання радіодоступу до каналу за стандартом IEEE 802.16-2004 є доступ за запитом (DAMA), за якого абонентська станція може здійснювати передавання сигналів лише під час відведених для неї

часових інтервалів.

В режимі WirelessMAN-OFDM застосовується метод модуляції OFDM, який базується на двох основних принципах: розподілу каналу зі змінними параметрами на паралельні гаусівські канали з різним відношенням сигнал/шум і вимірювання параметрів каналу. За першим принципом кожна піднесуча частота модулюється незалежно із застосуванням квадратурної амплітудної модуляції. Для забезпечення роботи алгоритмів ШПФ/ЗШПФ, виходячи з довжини ШПФ  $N_{FFT} = 256$  кількість несучих частот  $N$  дорівнює

200. Решта 55 частот ( $k = -128, \dots, -101$  і  $101, \dots, 127$ ) створюють захисні інтервали на краях діапазону частот каналу. Центральна частота ( $k = 0$ ) і частоти захисних інтервалів для передавання інформації не використовуються (їхні амплітуди дорівнюють нулю). Ширина смуги частот за європейською специфікацією становить 28 МГц.

Топологія мережі IEEE 802.16 має вигляд так званої Mesh мережі, в якій пристрої можуть працювати як за архітектурою „пункт-багато пунктів", так і „кожен з кожним". Приклад такої мережі наведений на рис. 8.80.

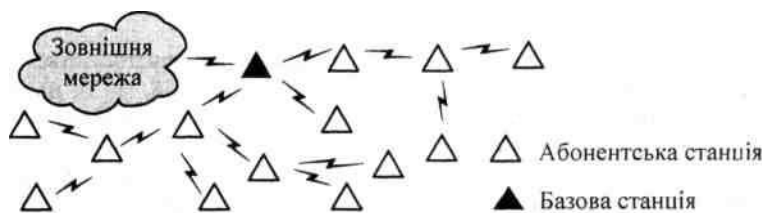


Рис. 8.80. Приклад Mesh мережі

Перевага Mesh мереж перед одноранговими локальними мережами стандарту IEEE 802.11 полягає в можливості побудови широкосмугової мережі, в якій трафік може передаватися через ланцюг із кількох станцій, вирішуючи таким чином завдання передавання даних за умови відсутності прямої видимості. В Mesh мережі всі станції рівноправні, але в ній завжди є один вузол, через який здійснюється обмін даними із зовнішньою мережею. Такий

вузол називається базовою станцією Mesh мережі. В цій мережі відсутнє поняття „лінія вгору" чи „лінія вниз". Обмін даними між станціями здійснюється під час відведених для кожної з них часових інтервалів.

Основні параметри та характеристики радіотехнологій безпроводового радіодоступу WiMAX (стандартів IEEE 802.16-2004 та IEEE 802.16e) наведені в табл. 8.40.

Таблиця 8.40

Назва параметра, характеристики	Значення параметра та тип характеристики для радіотехнології	
	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e
Максимальна швидкість передавання даних абонента, Мбіт/с (у смузі частот, МГц)	брак даних	15 (5)
Типова швидкість передавання даних абонента, Мбіт/с	2 – 10	3
Метод модуляції	BPSR, QPSK, OFDM	BPSR, QPSK, OFDM, 256-, 64-, 16-QAM
Ширина робочої смуги частот, МГц	від 1,5 до 20	
Метод доступу	FDD/TDD	
Типовий радіус дії (в залежності від потужності), км	1 – 50	0,5 – 5,0
Діапазон частот	2,4 ГГц; від 2,5 ГГц до 2,7 ГГц; 3,5 ГГц; від 5 ГГц до 6 ГГц	

Для точного вимірювання параметрів каналу використовуються так звані „пілотні“ несучі частоти (з індексами  $\pm 88$ ,  $\pm 63$ ,  $\pm 38$ ,  $\pm 13$ ), на яких передаються стандартні сигнали. Решта 192 несучі частоти поділені на 16 підканалів по 12 несучих частот у кожному, при цьому в одному підканалі частоти розташовані групами, а не поспіль. Розподіл на канали зумовлений передбаченою можливістю застосування не всіх, а лише частини підканалів.

Одним із перших прикладів реалізації WiMAX-сумісного обладнання була система BreezeMax компанії Alvarion (Ізраїль), призначена для роботи в діапазоні частот від 3400 МГц до 3600 МГц. Спектрограма сигналу одного каналу базової станції BreezeMax (із шириною спектра частот 3,5 МГц), зображена на рис. 8.81, сигналу базової станції WiMAX у діапазоні 3,5 ГГц із шириною спектра 9 МГц - на рис. 8.82, сигналу абонентської станції Breeze-Max в діапазоні частот 3,4 ГГц - на рис. 8.83, сигналу OFDM - на рис.8.84.

До основних типів обладнання зазначених систем зв'язку, які дозволені до використання в Україні, відноситься обладнання WalkAir (виробництва

компанії Siemens), WinAir, BreezeMAX і BreezeNet (усі виробництва компанії Alvarion). Основні їхні параметри та характеристики наведені в табл. 8.41.

Таблиця 8.41

Назва параметра, характеристики	Значення параметра та тип характеристики		
	WalkAir	BreezeNet	BreezeMAX
Відповідність стандарту (рекомендації)	CEPT/ERC Rec. 14-03	IEEE 802.16a	IEEE 802.16a
Швидкість передавання	від 64 кбіт/с до 4096 Мбіт/с	до 20 Мбіт/с	до 12,7 Мбіт/с
Радіус дії	до 10 км у діапазонах 3,5 ГГц і 0,5 ГГц; до 3 км у діапазоні 26 ГГц	до 50 км	до 15 км
Діапазон (смуга) частот, ГГц	3,5; 10,5; 26	від 5,4 до 5,725; від 5,725 до 5,85	3,3; 3,5; 3,6
Ширина смуги частот, МГц	брак даних	до 20	3,5; 1,75
Розмір секторів	90°, 60°, 45°	90°, 120°	90°, 120°
Потужність передавача, дБм	брак даних	21	від 28 до 34 (BC) від 20 до 22 (AC)
Чутливість, дБм (у смузі частот 3,5/1,75 МГц)	брак даних	- 64 (64-QAM) - 86 (QPSK) - 88 (BPSK)	- 82/- 85 (64-QAM) - 100/- 103 (BPSK)

### 8.13.5 Особливості радіомоніторингу в смугах частот роботи РЕЗ безпроводового радіодоступу WMAN радіотехнології WiMAX

Відмічені раніше технічні та організаційні особливості побудови мереж широкосмугового безпроводового радіодоступу радіотехнології WiMAX у певній мірі сприяють можливості виявлення їхнього радіовипромінювання стаціонарними та портативними засобами радіомоніторингу.

Моніторинг у смугах частот роботи передавачів систем безпроводового абонентського радіодоступу WMAN радіотехнології WiMAX із застосуванням стаціонарних засобів радіомоніторингу проводиться в разі виявлення порушень у сфері користування РЧР, або на підставі заяв користувачів РЧР про наявність радіозавад у цих смугах.

Процес моніторингу в цьому випадку полягає в такому:

1) за результатами прогнозування розвитку та впровадження мереж безпроводового абонентського радіодоступу в межах великих міст визнаються місця, в яких розгортаються РКП, обладнані дешевими станціями виявлення радіовипромінювання в діапазоні НВЧ без функцій пеленгування (із застосуванням ненаправлених АС), які працюють у напівавтоматичному режимі (наприклад, на базі застосування компактних моніторингових систем типу UMS100, UMS120), причому конкретна структура такої автоматизованої мережі визначається окремо для кожного міста;

2) такі РКП об'єднуються в єдину автоматизовану підсистему моніторингу НВЧ діапазону та інтегруються до регіональної автоматизованої підсистеми радіомоніторингу;

3) за результатами дослідної експлуатації підсистеми НВЧ-моніторингу для кожного поста в межах його зони радіодосягнення формується еталонний „електронний паспорт” електромагнітної обстановки;

4) у процесі роботи підсистеми моніторингу НВЧ поточні результати оцінювання

реальної електромагнітної обстановки порівнюються з еталонними і в разі великого відхилення рівнів сигналів на деяких частотах (у смугах частот) від установлених допусків формується сигнал „тривоги”;

5) для локалізації місцезнаходження конкретного ДРВ серед інших РЕЗ, які працюють в одній смузі частот, визначають напрямок на цей ДРВ за допомогою електромеханічних методів.

На практиці визначення напрямку на ДРВ може бути реалізовано із застосуванням направлених антен двома способами з використанням:

- стаціонарних засобів радіомоніторингу НВЧ діапазону;
- портативних (носимих) засобів радіоконтролю.

У першому випадку до антенного входу стаціонарного комплексу радіомоніторингу НВЧ замість штатних ненаправлених антен підключають портативні направлені антени. Визначення напрямку на ДРВ проводять за критерієм максимуму сигналу під час обертання антени в азимутальній площині.

У другому випадку використовують аналізатори спектра та направлені антени, встановлені на тринозі з лімбом для визначення напрямку на ДРВ, які також розгортаються на позиціях, де виявлені радіозавади. Для визначення напрямку на незаконно діючий передавач або джерело радіозавади зазначені засоби повинні розміщуватись якомога ближче до місця розташування антен стаціонарних РЕЗ або в місці, де зафіксовані радіозавади.

Під час проведення технічного радіоконтролю параметрів випромінювання передавачів радіотехнології WiMAX (стандарту IEEE 802.16-2004 для фіксованого радіодоступу), який виконується стаціонарними чи портативними засобами, вимірюються такі параметри радіовипромінювання передавачів базових станцій:

- частота;
- ширина займаної смуги частот;
- рівень (напруженість електромагнітного поля) сигналу, що приймається.

Технічний радіоконтроль параметрів радіовипромінювання передавачів абонентських станцій радіотехнології WiMAX взагалі не проводиться.

Частота радіовипромінювання визначається як середня частота ширини займаної смуги частот, яка може бути оцінена методом за критерієм X дБ на довільному рівні (наприклад, на рівні 6 дБ).

Проведення технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювань передавачів РЕЗ стандарту IEEE 802.16e (рухомого радіодоступу) недоцільне.

### **8.13.6 Особливості радіомоніторингу в смугах частот роботи РЕЗ безпроводового радіодоступу WPAN стандартів IEEE 802.15, HomeRF, ZigBee та HiperLAN**

До основних особливостей організації зв'язку РЕЗ стандартів IEEE 802.15, HomeRF, ZigBee та HiperLAN можна віднести:

1) надто малу дальність дії (до 100 м у приміщеннях та до 300 м поза ними при потужності 100 мВт та одиниць метрів при потужності до 4 мВт у приміщеннях);

2) значну ширину спектра частот радіовипромінювання.

Проведення у смугах частот роботи РЕЗ відмічених вище стандартів радіозв'язку моніторингу та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання передавачів базових станцій вважається недоцільним.

### 8.13.7 Мережі широкосмугового безпроводового радіодоступу BWA

До класу мереж широкосмугового безпроводового радіодоступу **BWA** відносяться:

- мультисервісні мережі високошвидкісного доступу до Internet **LMDS** (Local Multipoint Distribution System);
- мережі постачання програм телебачення **MMDS** (Multichannel Microwave Distribution System), **MVDS** (Multipoint Video Distribution System), **M1TPIC** (телерадіоінформаційні системи);
- мікростільникові безпроводові мережі передавання даних за стандартом EN 301 753.

#### 8.13.7.1 Мультисервісні мережі LMDS

Мультисервісні мережі високошвидкісного доступу до Internet LMDS являють собою широкосмугові системи безпроводового радіодоступу типу "пункт-багато пунктів", які функціонують в діапазоні частот понад 20 ГГц. Мережі LMDS були розроблені з метою заміни кабельної інфраструктури на „останній милі“ безпроводовими з'єднаннями й призначені для одностороннього чи двостороннього передавання інформації мовлення, даних, трафіка Internet або сигналів відео. За своєю суттю радіотехнологія LMDS являє собою стільникову систему передавання інформації для фіксованих абонентів із використанням радіоканалу в діапазоні НВЧ. Загальна структура мережі LMDS передбачає розгортання мережі стільників, у центрі яких встановлюються базові станції. Радіус зони дії однієї базової станції становить кілька кілометрів (практично не більше 7 км) і ця зона охоплює кілька тисяч абонентських станцій. Швидкість передавання даних у діапазонах частот 26 ГГц, 28 ГГц і 38 ГГц може досягати 45 Мбіт/с. На лінії „вниз“ зв'язок організований за схемою „пункт-багато пунктів“. У зворотному каналі, в разі застосування безпроводового зв'язку, використовується схема „пункт-пункт“. Радіотехнологія LMDS може використовуватися в мережах GSM, CDMA і покоління 3G із метою „транспортування“ інформації до базових станцій стільникового зв'язку.

Основні особливості організації мереж зв'язку LMDS такі:

- реалізація зв'язку лише в межах прямої видимості;
- зв'язок лише між нерухомими абонентами;
- значна залежність якості зв'язку від умов поширення радіохвиль, зокрема, від стану атмосфери.

В системах LMDS застосовується ЧМ із частотним рознесенням між каналами 20 МГц. У деяких системах, реалізованих на платформі LMDS, для формування сигналів з метою зв'язку з терміналами, що знаходяться неподалік від базової станції, застосовується модуляція 16-QAM, а з терміналами, які знаходяться на межі зони покриття - QPSK або 4-QAM. Під час оброблення інформації використовується частотне перемежування інформації, а також просторове розділення сигналів.

Одна з основних проблем, які стримують розвиток LMDS - відсутність стандартів на дану радіотехнологію.

В Україні для систем мультисервісного радіодоступу виділена смуга частот від 27,5 ГГц до 29,5 ГГц [19].

У відомій науково-технічній літературі відсутня будь-яка інформація стосовно організації моніторингу у смугах частот, виділених для систем LMDS, та технічного радіоконтролю параметрів їхніх передавачів.



### 8.13.7.2 Телерадіоінформаційні системи

До зазначеного класу систем відносяться мережі постачання програм телебачення **MMDS** і **МІТРС**.

Багатоканальна багатоадресна розподілена служба **MMDS** відноситься до категорії фіксованих безпроводових мереж. Взагалі під **MMDS** маються на увазі системи наземного безпроводового радіодоступу, що працюють у смузі радіочастот від 2 ГГц до 10 ГГц. На початку свого розвитку вони призначались для передавання сигналів мовлення (аналогічно кабельному телебаченню). Нині системи **MMDS** використовуються для однонаправленого передавання сигналів телебачення й радіомовлення та цифрових даних. Для передавання сигналів телебачення в цифрових системах **MMDS** в Європі діє стандарт **DVB-МC**, ратифікований Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (**ETSI**) як стандарт **EN 300 749** для всіх цифрових систем безпроводового багатоадресного (multipoint) радіодоступу, що працюють у діапазоні частот до 10 ГГц (в Україні - **ДСТУ EN 300 749**).

В системах **MMDS** використовується метод множинного доступу з часовим розділенням (**TDMA**). Стосовно систем модуляції й захисного кодування **MMDS** практично повторює положення стандарту **DVB-C**, що дозволяє застосовувати в цифрових системах **MMDS** приймачі **DVB-C**. Для передавання даних використовується метод двонаправленого обміну: з часовим (**TDD**) або частотним (**FDD**) розділенням. Швидкість передавання в каналі „вниз” може досягати 56 Мбіт/с, у каналі „вгору” - 25 Мбіт/с, але на практиці швидкість передавання цифрових даних не перевищує 10 Мбіт/с. Оскільки основне призначення систем **MMDS** - це передавання телевізійних сигналів, то для передавання даних використовується лише декілька каналів. У стандартній смузі частот **MMDS** шириною 200 МГц розташовується 100 телевізійних каналів (у разі використання модуляції 64-QAM). Для реалізації принципу повторного використання радіочастот виконується розподіл зони покриття базової станції за рахунок використання секторних антен.

Мережа **MMDS** будується за топологією „зірка”. Приклад побудови мережі **MMDS** наведений на рис. 8.85.

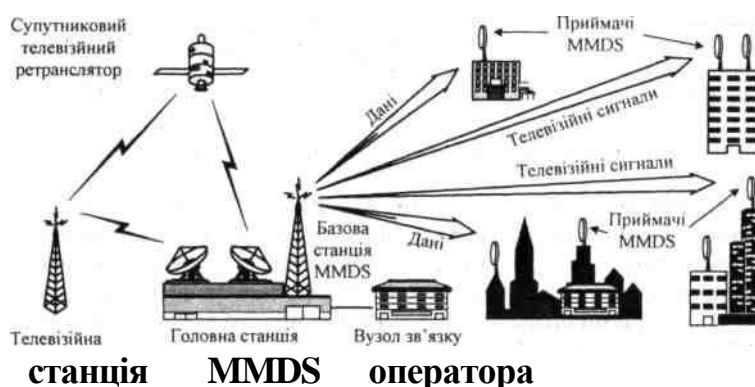


Рис. 8.85. Приклад побудови мережі **MMDS**

Віддаленими абонентами мережі **MMDS** можуть бути як окремі абонентські станції (робочі місця), так і локальні мережі. Як шлюз для доступу до радіомережі **MMDS** використовується модем із комплектом антен і приймально-передавальним обладнанням (рис. 8.86). Для формування сигналів для передавання на лінії „вниз” використовується модуляція 64-QAM або 256-QAM, на лінії „вгору” - **QPSK**. Для обміну інформацією з базовою станцією індивідуальним абонентам виділяються

різні часові інтервали (слоти) на різних частотних підканалах, що дозволяє ефективно використовувати обмежений частотний ресурс, виділений для MMDS. Основні переваги системи MMDS порівняно з існуючими системами телевізійного мовлення такі:

- більша кількість телевізійних програм, що передаються (в разі модуляції цифровими сигналами стандарту MPEG-2 - у 4 - 6 разів);

- значно менша потужність передавача порівняно з аналоговими (сумарна стандартна потужність становить до 10Вт, максимальна - 100Вт, а потужність аналогових передавачів - до 50 кВт у метровому та до 10 кВт у дециметровому діапазоні хвиль);

- незалежність умов приймання від телевізійних стандартів внаслідок застосування цифрового оброблення сигналів.

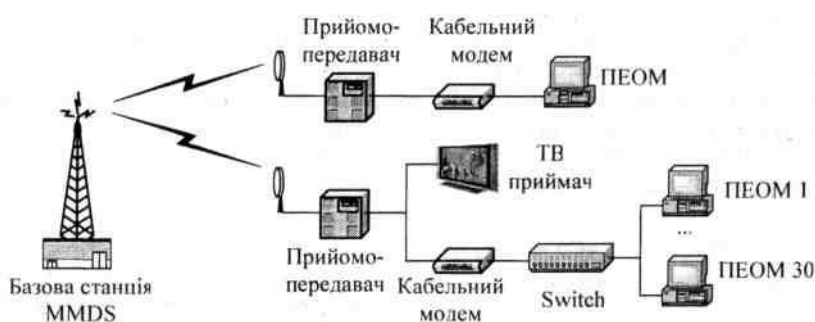


Рис. 8.86. Схема типового з'єднання абонентів у мережі MMDS

Безпроводові радіомовні системи МІТРІС (Мікрохвильова Інтегрована ТелеРадіоІнформаційна Система) являють собою телерадіоінформаційні системи, призначені для надання послуг абонентського телебачення, мовлення, передавання даних, багатоканальної телефонії, електронної пошти, мулти-медіа тощо. Системи працюють у супутниковому діапазоні Ku у смузі частот від 11,7 ГГц до 12,5 ГГц. Достоїнство цих систем - можливість застосування стандартного абонентського обладнання для супутникового приймання та широка смуга частот. У той же час, окрім забезпечення розповсюдження сигналів аналогового телебачення, можливе використання даної мережі також для забезпечення швидкісного доступу до Internet з організацією зворотного каналу в діапазонах 2,3 ГГц або 2,4 ГГц.

Організація цифрових каналів зв'язку здійснюється комбінованим методом множинного доступу: в напрямку від центральної станції до абонентів - з часовим, у зворотному - з частотно-часовим розподілом каналів. Загальна структура мережі МІТРІС у частині надання послуг телебачення практично повторює структуру системи MMDS. Радіус зони покриття базового варіанту системи становить близько 20 км. Зона створюється шляхом застосування кількох (до восьми) секторних антен (із шириною сектора 45°) з окремим передавачем для кожної антени. В системі МІТРІС застосовується ЧМ. Ширина смуги частот одного каналу становить 23 МГц.

Основні технічні параметри систем MMDS, МІТРІС тателерадіосистеми „Трофі” наведені в табл. 8.42.

Таблиця 8.42

Назва параметра	Значення параметра		
	MMDS	МІТРІС	TPC „Трофі”
Діапазон частот, ГГц	від 2,15 до 2,686 (робочий від 2,486 до 2,686)	від 11,7 до 12,5	
Ширина смуги частот, МГц	200	800	756
Максимальна кількість каналів	33 аналогових шириною по 6 МГц (або 25 по 8 МГц); до 100 цифрових	понад 130	28 групових
Ширина смуги частот одного каналу, МГц	8	23	28 (для групового сигналу)
Вихідна потужність	(1 - 100) Вт – загальна; (1 - 10) Вт – як правило	(50 - 100) мВт (до 10 мВт на 1 канал)	1,1 Вт
Вид модуляції	АМ	ЧМ	QPSK
Швидкість передавання даних (у смузі частот 8 МГц)	56 Мбіт/с (на лінії „вниз”) 12 або 25 Мбіт/с (на лінії „вгору”)	–	–
Радіус зони обслуговування, км	(30 - 60) – телебачення; 16 – передавання даних	25	–
<i>E.i.v.n.</i> , дБВт	42,8	15,2	–

### 8.13.7.3 Мікростільникові безпроводові мережі передавання даних за стандартом EN 301 753 та особливості радіомоніторингу випромінювань їхніх передавачів

Для мікростільникових безпроводових мереж передавання даних за стандартом EN 301 753 в Україні виділені парні смуги частот:

- (1430,5 - 1448,5) МГц / (1479,5 - 1497,5) МГц;
- (1785 - 1805) МГц / (1900 - 1920) МГц;
- (2100 - 2110) МГц / (2200 - 2232) МГц.

У смугах частот від 1430,5 МГц до 1448,5 МГц (для лінії „вгору”) та від 1479,5 МГц до 1497,5 МГц (для лінії „вниз”) працюють системи широкосмугового абонентського радіодоступу AS Wipll, які служать платформою для комплексного вирішення проблеми „останньої милі” та забезпечують високо-швидкісне передавання даних, сигналів IP-телефонії та мультимедійної інформації. Системи широкосмугового абонентського радіодоступу AS Wipll, які працюють у смузі частот від 1400 МГц до 1500 МГц, належать до різновиду систем мультисервісного доступу та систем безпроводового радіодоступу типу WLAN стандарту IEEE 802.11a, робочі частоти яких перенесені до нижчого діапазону. Системи AS Wipll ґрунтуються на поєднанні методів множинного доступу з кодовим розділенням і стрибкоподібною зміною частоти FH-CDMA, що забезпечує можливість зменшення вихідної потужності передавачів і розширення ширини спектра частот.

Рознесення між каналами „вгору” і „вниз” становить 49 МГц. Система використовує технологію радіодоступу FH-CDMA із застосуванням модуляції видів 2FSK, 4FSK, 8FSK. Головним модулем системи AS Wipll є центральний термінал, який виконує функції „точки доступу” до мережі передавання даних через

радіоканал. Системи AS Wipll використовують радіосигнали класу радіовипромінювання *IM33F7DET* із шириною спектра частот 1,33 МГц (на рівні мінус 20 дБ) та частотним рознесенням підканалів 1 МГц. Вихідна потужність передавача не перевищує 1 Вт (30 дБм), а дальність радіозв'язку - 20 км.

Смути частот від 1785 МГц до 1805 МГц (для лінії „вгору“) і від 1900 МГц до 1920 МГц (для лінії „вниз“) виділені для обладнання IP Wireless, яке забезпечує високошвидкісне передавання даних радіоканалом між базовою та абонентськими станціями і працює в дуплексному режимі (TDD) з радіоінтерфейсом TD-CDMA.

Номінальні значення частот базової станції (в мегагерцах) визначаються за формулою

$$f = 1902,5 + N \times 5, \quad (8.33) \quad \text{де} \quad N = 0,1,2,3.$$

Зазначене обладнання використовує радіосигнали з класом радіовипромінювання *5M00G7DET* і *5M00D7DET*. Ширина смуги частот у разі роботи обладнання в цій смузі частот становить 5 МГц (із можливістю збільшення до 10 МГц), крок сітки частот також становить 5 МГц. Користувачі підключаються до мережі (базової станції) через абонентський термінал, виконаний у вигляді картки пам'яті для персонального комп'ютера - картки PCI MCA (Personal Computer Memory Card International Association) або за допомогою зовнішнього модему.

Структура мережі типова для систем із високошвидкісним радіоканалом передавання даних і зображена на рис. 8.87.

За загальноприйнятою класифікацією зазначене обладнання відноситься до радіотехнології UMTS. Базова станція позначається як UTRA TDD Node B. Максимальна потужність передавача базової станції може досягати 10 Вт (40 дБм). Типова дальність зв'язку становить близько (5 - 7) км.

Для модуляції цифрового потоку в базовій станції застосовується вид модуляції 16-QAM, в абонентських терміналах - BPSK або 16-QAM.

Смути частот від 2100 МГц до 2110 МГц (для лінії „вгору“) та від 2200 МГц до 2232 МГц (для лінії „вниз“) виділені для систем широкосмугового мультисервісного радіодоступу типів „BarS“, „CarT“, „Cactus“, „MDS“. На лінії „вниз“ використовуються сигнали з класом радіовипромінювання *3M20V7DEN*, на лінії „вгору“ - *8M00V7DEN*.

На підставі аналізу наведеної раніше інформації про системи IP Wireless, які працюють у смузі частот від 1800 МГц до 1900 МГц, потрібно зауважити, що в частині організації мереж надання послуг передавання даних ці системи представляють собою фрагменти системи UMTS. Тому методи технічного радіоконтролю випромінювання передавачів цих систем аналогічні методам для мереж UMTS і радіоконтроль проводиться з метою виявлення джерел радіозавад у робочих діапазонах частот цих мереж.

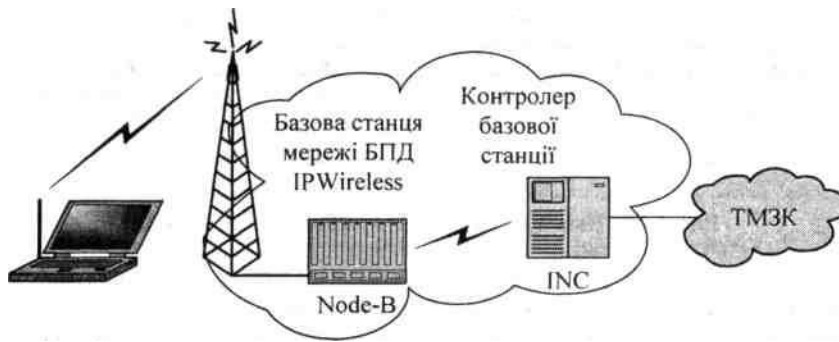


Рис. 8.87. Загальна структура мережі IPWireless

Аналіз особливостей організації зв'язку в мережах зазначених систем свідчить про ускладнення виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювання в мережах AS WipII. Крім того, враховуючи досить малі розміри зони радіопокриття та незначну кількість обладнання цих систем, яке нині експлуатується в Україні, треба відмітити, що проведення моніторингу в зазначених смугах частот вважається недоцільним. Технічний радіоконтроль проводиться із застосуванням мобільних комплексів радіомоніторингу та портативних засобів.

#### 8.14 Перспективні радіотехнології в системах радіодоступу

Зростання вимог до швидкості передавання інформації та пропускну здатності каналів передавання даних у сучасних системах зв'язку вимагає використання більш ефективних сигналів із точки зору їхніх спектрів, які могли б забезпечити вищу, порівняно з чинними радіотехнологіями, завадо-захищеність і стійкість до реальної завадової обстановки. Одним із методів підвищення спектральної ефективності є застосування надширокопосмугових (Ultrawide Band, UWB) сигналів [111].

Розвиток радіотехнологій UWB бере свій початок із середини 50-х років минулого століття. Орієнтовно до 1980 року були завершені основні теоретичні дослідження в сфері систем UWB і розроблені перші цивільні та військові системи для радіолокації, зв'язку й позиціонування.

Згідно з Положенням Федеральної комісії зв'язку США (Federal Communication Commission, FCC) усі засоби радіотехнології UWB поділені на три категорії (рис. 8.88).

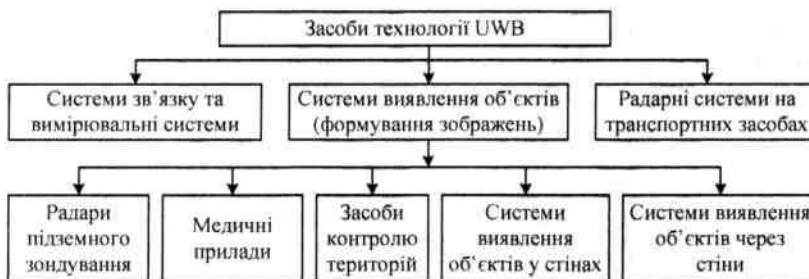


Рис. 8.88. Класифікація засобів радіотехнології UWB

Для всіх категорій засобів радіотехнології UWB встановлені технічні стандарти та обмеження щодо їхнього використання, які враховують потенційно можливі радіозавади, зумовлені цими засобами. Системи зв'язку та вимірювальні системи представляють собою велике коло засобів, в яких використовуються сигнали UWB, наприклад, швидкодіючі мережі обміну даними для домашнього та

внутрішнього застосувань, засоби позиціонування, вимірювання об'єму приміщення тощо.

Радарні системи, що встановлюються на транспортних засобах, призначені для виявлення об'єктів поблизу транспортного засобу.

До систем виявлення об'єктів відносяться радари підземного зондування, які розташовуються в землі або біля її поверхні та дозволяють виявляти й формувати зображення об'єктів у надрах. Крім того, системи виявлення об'єктів використовуються:

- в медицині для отримання зображень внутрішніх органів;
- у приладах контролю територій з метою виявлення незаконних вторгнень до підохоронних зон;
- для виявлення об'єктів, що знаходяться у стінах, та дослідження їхньої структури;
- для виявлення об'єктів через стіни;
- для визначення місцезнаходження предметів та людей, розташованих за перепорою.

Зазначені системи виявлення об'єктів застосовуються правоохоронними органами, рятувальними службами, а також із метою проведення наукових досліджень.

Згідно з існуючою термінологією, запропонованою FCC та ухваленою Цільовою групою (ITU) 1/8 Першої дослідницької комісії ITU-R, до класу систем радіотехнології UWB відносяться системи, для яких виконується одна з умов:

- 1) ширина спектра сигналу не менша, ніж 500 МГц;
- 2) показник широкосмуговості  $k_c$  задовольняє вимозі

$$k_c = (f_B - f_H) / f_0 > 0,2, \quad (8.34)$$

де- відповідно верхня та нижня межа спектра радіовипромінюван-

ня системи  $f_B$  і  $f_H$  нарівні мінус 10дБ;

$f_0$  - центральна частота спектра випромінювання системи, розрахована за формулою (4.2).

Розширення спектра сигналу базується на застосуванні дуже коротких одиночних імпульсів (тривалістю від 20 нс до 0,1 нс), які прямують один за одним із певним інтервалом, що забезпечує отримання шумоподібного спектра частот випромінюваного сигналу із шириною кілька гігагерц.

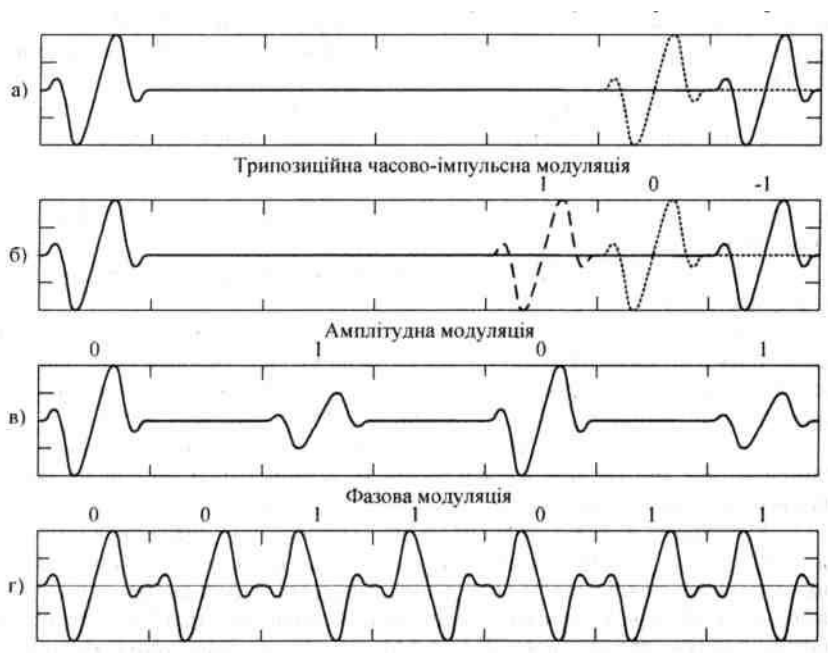
Для модуляції сигналів у засобах радіотехнології UWB можуть використовуватися методи часово-імпульсної модуляції (ЧІМ) (яка іноді також називається часово-позиційною), АМ або ФМ (рис. 8.89).

У першому випадку інформація про символ, що передається („0" або „1"), кодується в затримці імпульсу відносно певного „штатного" його положення згідно з періодом прямування імпульсів. У разі використання АМ інформація міститься в амплітуді імпульсів. З точки зору технічної реалізації найпростішими вважаються ЧІМ і АМ, за якими інформація кодується відповідно часовою затримкою (змінною часової позиції) та амплітудою імпульсу. Застосування в системах радіотехнології UWB ФМ у поєднанні із ЧІМ та АМ дозволяє суттєво збільшити швидкість передавання інформації. Проте через складність реалізації швидкодіючих демодуляторів ФМ сигналів донині ФМ широкого застосування в радіотехнології UWB не знайшла.

Однією з перших практичних реалізацій радіотехнології UWB була запропонована Л. Фулertonом система, що базується на застосуванні методу ЧІМ сигналів і структурна схема якої наведена на рис. 8.90. Фулerton назвав такий тип систем „імпульсним радіо“.

Передавальна частина системи „імпульсного радіо“ складається з таких елементів:

- АС, яка випромінює короткі імпульси;
- модулятора (Мод.);
  - високоточного опорного (тактового) генератора (ТГ);
  - імпульсного ключа (ІК), який виконує функції комутатора та формує потужні імпульси;
- пристрою формування часової затримки імпульсів (ФЧЗ);
- генератора коду (ГК);
- високовольтного джерела електроживлення (високовольтного випрямляча, ВВВ).



Двопозиційна часово-імпульсна модуляція

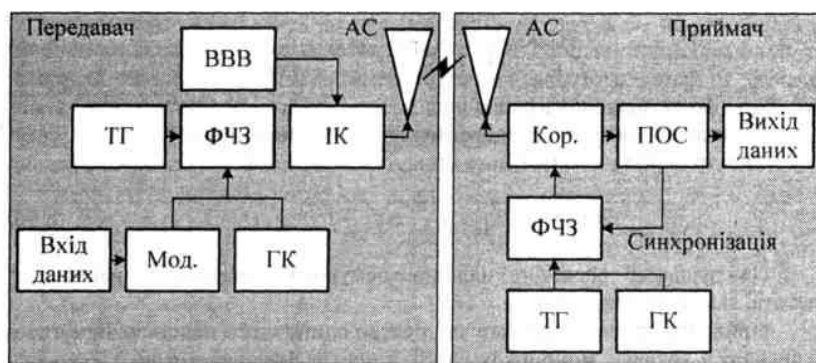
Рис. 8.89. Приклад часово-імпульсної, амплітудної та фазової модуляцій у засобах радіотехнології UWB

До приймальної частини системи „імпульсного радіо“ входять:

- тактовий генератор (ТГ) і генератор кодів (ГК);
- пристрій формування часової затримки імпульсів (ФЧЗ);
- пристрій оброблення сигналу (детектор приймача) (ПОС);
- корелятор (Кор.).

В системах радіотехнології UWB відсутні потужні підсилювачі, використовуються приймачі прямого перетворення (без гетеродинів і елементів частотної фільтрації), а пристрої детектування, модуляції/демодуляції сигналів досить прості й реалізуються засобами звичайної цифрової логіки без складних алгоритмів оброблення сигналів. АС виготовляються безпосередньо на друкованих платах.

Рис. 8.90. Структурна схема системи Фулертон



Принцип роботи пристрою за наведеною схемою такий.

Тактовий генератор формує послідовність одиночних імпульсів із періодом прямування в межах від 2 не до 5000 не, які надходять до ФЧЗ, що забезпечує часову затримку кожного імпульсу відповідно до змісту інформації, яка кодується. При цьому можлива як двопозиційне так і трипозиційне кодування. У першому випадку, наприклад, сигнал, що випромінюється на 100пс раніше закінчення міжімпульсного інтервалу, кодує символ „1”, сигнал, що випромінюється на 100пс пізніше цього інтервалу, кодує символ „0” (рис. 8.89, а).

У разі трипозиційного кодування сигнал, що випромінюється на 100 пс раніше закінчення міжімпульсного інтервалу, кодує символ „1”, сигнал, що випромінюється на 100пс пізніше цього інтервалу, кодує символ „-1” \ неза-триманий сигнал кодує „0” (рис. 8.89, б).

Модулятор модулює послідовність імпульсів згідно з бітовою інформаційною послідовністю. Крім того, кожний біт інформації кодується псевдовипадковою послідовністю чіпів, яка генерується генератором кодів і містить близько 200 імпульсів.

Завдяки чіткій синхронізації роботи передавального та приймального обладнання корелятор на приймальній стороні визначає відхилення прийнятих сигналів, формуючи (відновлюючи) таким чином інформаційну послідовність згідно з наведеним раніше правилом.

На відміну від методів CDMA в системі „імпульсного радіо” псевдо-випадкова послідовність використовується не для розширення спектра сигналу, а для згладжування спектра, розділення каналів для окремих абонентів і захисту від радіозавад [111].

Однією з можливих форм імпульсів у надширокосмугових пристроях можуть бути імпульси, форма яких  $U(t)$  описується за законом першої похідної функції Гауса (так званий „моноцикл Гауса”):

$$U(t) = 6U_0 \sqrt{\frac{e\pi t}{3}} \frac{t}{\tau} \exp\left[-6\pi \left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right],$$

де  $U_0$  - пікове значення амплітуди;

$\tau$  - часова константа, що характеризує згасання імпульсу. Спектр  $G(f)$  такого імпульсу описується виразом

$$G(f) = -j \frac{2f\tau^2}{3} \sqrt{\frac{e\pi}{2}} \exp\left(\frac{\pi}{6} f^2 \tau^2\right). \quad (8.36)$$

Центральною частотою надширокосмугового сигналу  $f_0$  вважається частота, яка визначається як



Приклади часової діаграми  $f_0 = 1/\tau$  та спектра одиночного надширокосмугового сигналу у вигляді „моноциклу Гауса" з центральною частотою 2 ГГц наведено на рис. 8.91.

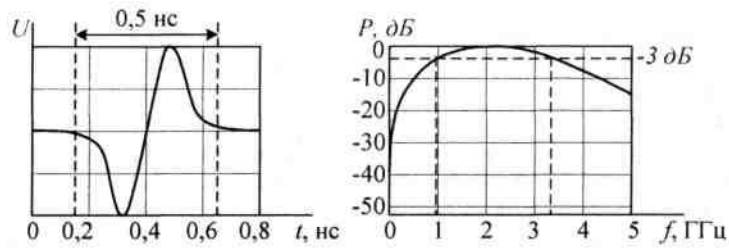


Рис. 8.90. Часова діаграма та спектр сигналу „моноцикл Гауса"

Для центральної частоти  $f_0 = 2$  ГГц смуга частот сигналу обмежується частотами  $f_H = 0,319f_0$  і  $f_B = 1,922f_0$ . Таким чином, ширина смуги частот на рівні мінус 3 дБ становить 160% від значення центральної частоти. Наприклад, для імпульсу тривалістю 0,5 нс і  $f_0 = 2$  ГГц ширина спектра частот становить 3,2 ГГц. Регулярна послідовність таких імпульсів не несе ніякої інформації, а спектр періодичної послідовності імпульсів гаусівської форми в часовій та частотній областях має чітко виражені піки, які прямують через рівні проміжки часу.

Такі енергетичні піки можуть бути згладжені шляхом нерегулярної зміни частоти прямування імпульсів, модуляції сигналів інформаційної послідовності та забезпечення розділення інформаційних каналів із використанням спеціального кодування.

Для передавання інформації застосовується часовий зсув імпульсів відносно тактових часових поміток, значення якого задається близько 1/4 від значення тривалості імпульсу (від 1 пс до 1000 пс).

З метою розділення каналів між абонентами в системах, які базуються на застосуванні радіотехнології UWB, використовується каналне кодування,

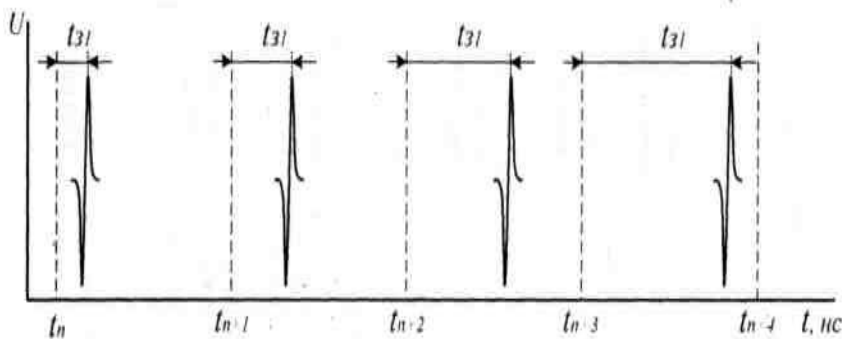


Рис. 8.92. Багатоканальний сигнал UWB періодичної послідовності імпульсів

Системи радіотехнології UWB мають цілу низку переваг порівняно з іншими системами. Порівнювальні технічні параметри та характеристики цих систем з іншими широкосмуговими системами наведені в табл. 8.43.

До суттєвих переваг систем „імпульсного радіо" можна віднести:

- відсутність ефекту інтерференції сигналів, які безпосередньо поширюються на трасі „передавач-приймач", із сигналами, що відбиваються від об'єктів (споруд,

будівель, рельєфу місцевості тощо);

-практична відсутність впливу вузькосмугової радіозавади на результати передавання інформаційної послідовності (така радіозавада може вплинути на приймання окремих імпульсів, але не на біт інформації в цілому);

-досить великі швидкості передавання даних (до 500 Мбіт/с).

Але ці переваги існують лише на відстанях, які не перевищують кількох метрів. Радіус зони обслуговування таких систем не більше 15 м.

Проте у процесі побудови високошвидкісних внутрішньоофісних мереж потрібно враховувати такі основні технічні проблеми:

1)необхідність відповідних широкосмугових присвоєнь радіочастот у загальних смугах частот роботи інших систем потребує проведення досконалих досліджень стосовно забезпечення EMC;

2)для ефективного приймання надширокосмугових сигналів потрібне створення антенного та приймального обладнання, яке здатне працювати в досить великому частотному діапазоні;

3)для нормальної роботи засобів радіотехнології UWB необхідно забезпечити чітку синхронізацію приймального та передавального обладнання.

Одним із прикладів практичної реалізації радіотехнології UWB можна розглядати стандарт IEEE 802.15.3а, що ґрунтується на положеннях класичної схеми Л. Фулертонна.

Таблиця 8.43 – Порівнювальні технічні параметри та характеристики широкосмугових систем

Тип засобів	Швидкість передавання даних	Радіус зони обслуговування, м	Діапазон частот	Рівень потужності (e.i.v.n.)	Тип модуляції	Метод канального розділення	Призначення
UWB	до 500 Мбіт/с	15	від 1 ГГц до 11 ГГц	мінус (30 - 40) дБм/МГц	PPM/інший тип	імпульсне передавання	Персональні мережі та ін.
Bluetooth	722 кбіт/с	15	ISM 2,4 МГц	клас 1: 20 дБм клас 2: 4 дБм клас 3: 0 дБм	GMSK	розділення каналів за рахунок використання сигналів з ПВПЧ*	Персональні мережі та ін.
IEEE 802/11a, WLAN	до 54 Мбіт/с	50	5 ГГц	від 200 мВт до 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	частотне TDMA	Локальні мережі
IEEE 802/11b, WLAN	до 11 Мбіт/с	100	ISM 2,4 МГц	від 100 мВт до 2 Вт	CCK (8 Complex Chip Spreading)	частотне TDMA	Локальні мережі
IEEE 802/11b, WLAN	до 54 Мбіт/с	100	ISM 2,4 МГц	від 100 мВт до 2 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	частотне TDMA	Локальні мережі
HiperLAN2, WLAN	54 Мбіт/с	50	5 ГГц	від 200 мВт до 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	частотне TDMA	Локальні мережі

Примітка \*. ПВПЧ - псевдовипадкове перестроювання частоти

Але в цьому стандарті застосовуються імпульси спеціальної форми (рис. 8.93) з обвідної форми за законом гаусівської функції (з шириною спектра сигналу 500 МГц) і додатковим розширенням спектра шляхом програмного перестроювання центральної частоти імпульсу UWB.

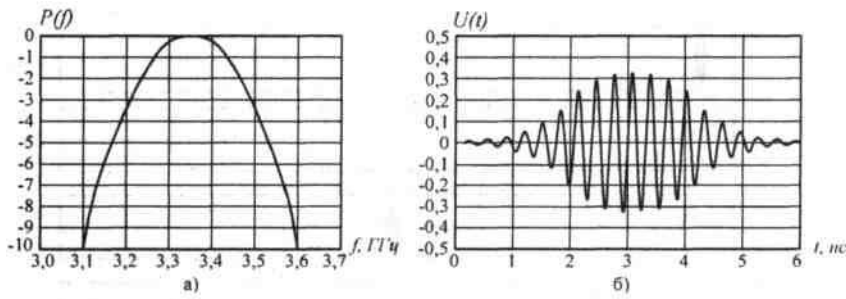


Рис. 8.93. Форма та спектр одиночного імпульсу UWB стандарту IEEE 802.15.3a

На відміну від класичної радіотехнології UWB у стандарті IEEE 802.15.3a центральна частота імпульсу змінюється за певним законом у межах деякого набору частотних каналів. Представлення таких сигналів у часовій і частотній областях наведено відповідно на рис. 8.94 і рис. 8.95.

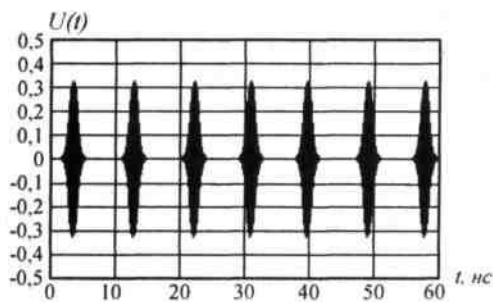


Рис. 8.94. Представлення послідовності імпульсів у часовій області

Нині згідно зі стандартом пропонується використовувати 15 частотних каналів шириною 500 МГц кожний у смузі частот від 3,1 ГГц до 10,6 ГГц. На початкових етапах розвитку систем стандарту IEEE 802.15.3a передбачається застосовувати „низькочастотні” канали. Для передавання інформації за стандартом IEEE 802.15.3a планується використовувати сигнали UWB з ФМ. За результатами теоретичних досліджень визначено, що застосування чоти-рипозиційної ФМ і набору із семи частотних каналів забезпечує інформацій- ну швидкість до 512 Мбіт/с [111]. За рахунок застосування деяких обмежень стосовно забезпечення ЕМС із іншими системами у спільних із ними смугах радіочастот (шляхом заборони випромінювання на окремих частотних каналах) збільшується ємність мережі за рахунок зменшення внутрішньосис-темних радіозавад.

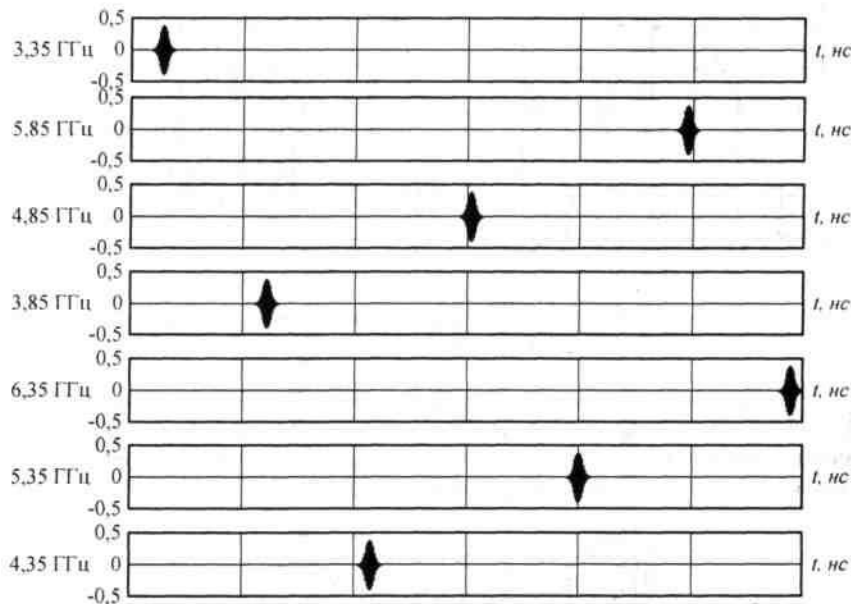


Рис. 8.95. Представлення послідовності імпульсів у частотній області

Використання засобів, що виконані за радіотехнологією UWB, нині передбачає вирішення сучасних завдань у сфері телекомунікацій, зокрема, організацію:

- високошвидкісних безпроводових мереж (HDR-WPAN);
- безпроводових з'єднань різних пристроїв, включаючи периферійні засоби та засоби Ethernet (WELL);
- інтелектуальних безпроводових мереж (IWAN);
- зовнішніх персональних мереж (OPPN);
- сенсорних мереж позиціонування та ідентифікації (SPIN).

Високошвидкісні персональні радіомережі (HDR-WPAN) визначаються як мережі, до складу яких входить до 10 засобів радіотехнології UWB, та які забезпечують передавання даних на відстань до 10 м зі швидкістю від 100 Мбіт/с до 500 Мбіт/с. Такі мережі забезпечують топологію „кожен із кожним”, тому засоби UWB можуть функціонувати в режимах ретранслятора та безпроводового моста із застосуванням радіотехнології Ad Hoc (технологія, що застосовується для реалізації систем зі змінною топологією чи систем зі змінним розташуванням абонентів). Радіолінії з інтерфейсом Ethernet (WELL) з використанням радіотехнології UWB дозволяють забезпечити швидкість передавання до 1 ГГц/с.

Приблизне значення рівня радіозавад, які створюються сукупністю засобів радіотехнології UWB на вході інших РЕЗ, за умови довільного їхнього розташування у приміщенні офісу, можна розрахувати за формулою

$$P = \Delta F N_f \sqrt{N} \frac{\lambda_{cp}^2}{16\pi^2 R_{cp}^2}, \quad (8.37)$$

де- смуга пропускання РЕЗ, на який впливає сигнал UWB;

$\Delta F$   
 $N_f$  - спектральна щільність потужності випромінювання сигналу UWB на виході передавача;

- кількість засобів радіотехнології UWB у приміщенні;
- середнє значення довжини хвилі у смузі частот  $\Delta F$ ;

$N - \lambda_{cp} - R_{cp}^2$  - середнє значення квадрату відстані від РЕЗ до засобів радіотехнології UWB.

За результатами оцінювання рівня радіозавад його значення у смузі частот 1 МГц становить близько мінус 64 дБм, що приблизно дорівнює рівню чутливості багатьох РЕЗ.

За результатами аналізу інформації, наведеної у відомій науково-технічній літературі, до основних особливостей організації зв'язку в мережах радіотехнології UWB і технічних параметрів радіовипромінювання РЕЗ цих мереж відносяться такі:

- надто малі розміри зони дії;
- надто малі рівні напруженості електромагнітного поля (на рівні або, навіть, нижче рівня атмосферних шумів) і рівні сигналів, що приймаються;
- надто велика ширина смуги частот сигналів, що випромінюються, та надто малі рівні щільності потужності цих сигналів.

Враховуючи ці особливості можна відмітити, що проведення моніторингу спектра у смугах частот, в яких передбачається упровадження радіотехнології UWB, і технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання РЕЗ, робота яких базується на застосуванні надширокопосмугових сигналів, неможливе та недоцільне.

## **Розділ 9 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ОБЛАДНАННЯ РАДІОМОНІТОРИНГУ**

### **9.1 Призначення технічних засобів та обладнання радіомоніторингу**

Відповідно до завдань служби радіомоніторингу основне призначення засобів радіомоніторингу - це забезпечення:

- постійного чи періодичного моніторингу завантаження спектра у визначених смугах частот;
- виявлення та аналіз нових радіовипромінювань;
- оцінювання технічних параметрів і визначення характеристик радіовипромінювань;
- пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ.

Кожне з цих завдань вирішується за умов складної електромагнітної обстановки та вимагає застосування великої номенклатури технічних засобів, які виконують певні функції і можуть використовуватися як автономно, так і в складі систем, комплексів, станцій радіомоніторингу. За обсягом виконуваних завдань функції засобів радіомоніторингу можна поділити на дві основні категорії:

- універсальні, виконання яких можливе лише у складі сучасних складних систем радіомоніторингу;
- додаткові.

До **універсальних функцій** відносяться:

- панорамний спектральний аналіз смуг і діапазонів частот, радіочастотних каналів, окремих частот у реальному масштабі часу з максимальною швидкістю, розрізненням за частотою, часом і простором та з адаптацією до електромагнітної обстановки;

- швидкий пошук „нових” радіовипромінювань, вимірювання (інструментальне оцінювання) їхніх параметрів, ідентифікація цих випромінювань і перевірка

відповідності параметрів вимогам нормативних документів та умовам дозволів на експлуатацію, а також - легальності роботи їхніх джерел;

-реєстрація параметрів радіовипромінювань і ведення бази даних (БД) обліку радіовипромінювань (БД радіообстановки);

-технічний аналіз радіосигналів.

До **додаткових функцій** відносяться:

-вимірювання напруженості електромагнітного поля або щільності потоку потужності;

-пеленгування ДРВ;

-визначення місцезнаходження ДРВ;

-вимірювання додаткових параметрів радіовипромінювання.

Для визначення раціональної структури апаратури радіомоніторингу вважається за доцільне поділення технічних засобів радіомоніторингу на певні категорії (групи) за явно вираженими специфічними ознаками, до яких за одним із варіантів класифікації, що наведені в [10, 178], відносять:

-розміри зони радіодоступності (радіодосягнення);

-характер використання;

-функціональне призначення;

-продуктивність обладнання;

- конструктивні обмеження (особливості конструктивного виконання).

За **розмірами зони радіодоступності** технічні засоби радіомоніторингу можна поділити на такі, що призначені для:

-вирішення завдань радіомоніторингу на місцевості та пеленгування ДРВ (засоби цієї групи повинні забезпечувати охоплення значних територій із можливістю проведення радіомоніторингу рухомими засобами);

-вирішення завдань радіомоніторингу в межах приміщення;

- проведення спеціальних (наукових) досліджень електромагнітних випромінювань.

За **характером використання** технічні засоби радіомоніторингу можна поділити на такі, що використовуються:

-на стаціонарних і тимчасових радіоконтрольних постах (РКП);

-на транспортних засобах;

-як носимі засоби.

За **функціональним призначенням** технічні засоби радіомоніторингу можна поділити на такі, що призначені для виконання функцій:

-універсальних;

-додаткових на місцевості;

-додаткових у межах приміщення.

**Продуктивність** технічних засобів радіомоніторингу характеризується швидкістю панорамного спектрального аналізу за заданим розрізненням і динамічним діапазоном. За цим критерієм засоби радіомоніторингу в залежності від швидкості панорамного огляду можна поділити на такі групи:

-низької продуктивності - від 10 МГц/с до 100 МГц/с;

-середньої продуктивності - від 100 МГц/с до 1000 МГц/с;

-високої продуктивності - від 1 ГГц/с до 10 ГГц/с;

-надвисокої продуктивності - понад 10 ГГц/с.

Класифікація технічних засобів радіомоніторингу за **особливостями**

**конструктивного виконання** вважається найоптимальнішою тому, що конструкція будь-якого засобу ґрунтується на врахуванні всіх інших ознак. Це зумовлено тим, що сучасне обладнання радіомоніторингу проектується з позицій системного підходу і являє собою систему програмно-апаратних засобів, які об'єднані єдиним задумом. Найзагальніша та найчастіше використовувана класифікація технічних засобів радіомоніторингу й радіоконтролю базується на застосуванні ознак їхньої мобільності та функціонального призначення, за якими вони класифікуються за такими категоріями:

- системи радіомоніторингу (радіоконтролю);
- стаціонарні комплекси (станції) радіомоніторингу;
- мобільні комплекси (станції) радіомоніторингу;
- радіопеленгатори;
- портативні та носимі засоби радіомоніторингу;
- засоби вимірювальної техніки (приймачі, аналізатори спектра тощо). Такий розподіл має досить умовний характер. Наприклад, у Франції за

критерієм мобільності станції радіоконтролю розподіляються на стаціонарні (фіксовані), пересувні та рухомі (мобільні) [9, 16], а обладнання виробництва компанії „ИРКОС” за критерієм можливостей просторового покриття розподіляється на стаціонарне, мобільне й портативне обладнання, носимі та вимірювальні засоби [10, 178].

До категорії стаціонарних відносяться технічні засоби постійного розташування, до мобільних - засоби, які розташовується постійно чи тимчасово на мобільних платформах наземного, надводного чи повітряного базування та мають можливість виконувати свої функції під час руху і (або) зупинки транспортного засобу.

Портативні засоби й обладнання характеризуються можливістю їхнього перенесення обмеженою кількістю персоналу (двома-трьома операторами) і використання на стаціонарних або тимчасових постах, у тому числі, на відкритій місцевості.

Відмінна особливість носимих засобів - це можливість їхнього розміщення на тілі оператора та використання під час руху. Носимі засоби можуть також використовуватися для виконання завдань радіомоніторингу на тимчасових або стаціонарних РКП.

Віднесення радіопеленгаторів до окремої категорії пояснюється тим, що вони можуть входити до складу як стаціонарних, так і мобільних комплексів радіомоніторингу, а також застосовуватися автономно.

### **9.3 Технічні та функціональні вимоги до технічного оснащення системи радіомоніторингу**

Основні узагальнені вимоги до технічного оснащення СРЧМ повинні бути такими:

1) відповідність технічного рівня обладнання, яке застосовується для вирішення завдань моніторингу РЧС і технічного радіоконтролю, сучасному рівню розвитку телекомунікаційного обладнання;

2) забезпечення вирішення певних завдань моніторингу РЧС та технічного радіоконтролю параметрів електромагнітних випромінювань РЕЗ діючих та новітніх радіотехнологій і систем зв'язку.

Вирішений підмічених раніше завдань радіомоніторингу забезпечується шляхом застосування стаціонарних комплексів (станцій) радіомоніторингу і мобільних іасобІВ (комплексів, станцій) радіомоніторингу загального призначення, об'єднаних у систему радіомоніторингу, та у виняткових випадках -портативних і косіших засобів радіоконтролю.

Вирішення відмічених раніше завдань радіоконтролю забезпечується шляхом використання мобільних засобів (комплексів, станцій) радіомоніторингу загального та спеціального призначення, спеціалізованих станцій технічного радіоконтролю (ССТК), портативних і носимих радіоконтрольних засобів.

Загальні вимоги до технічних характеристик засобів радіомоніторингу визначені в [1, 2, 9, 10].

Вимоги до функціональних можливостей та технічних характеристик обладнання визначаються, виходячи з умови забезпечення виконання завдань, покладених на автоматизовані стаціонарні станції радіомоніторингу. Ці вимоги в узагальненому виді наведені в Рекомендації ІТУ-R SM.1392 [13], а для автоматизованих мобільних комплексів радіомоніторингу - також у Рекомендації ІТУ-R SM.1723 [186].

В той же час, у процесі вибору обладнання для АСРМ кожна аміністра-ція зв'язку також ураховує свої економічні можливості та умови забезпечення виконання завдань щодо моніторингу РЧС. Але в будь-якому разі цей вибір базується на деяких основних положеннях.

1. Створення автоматизованої системи радіомоніторингу передбачає використання функціонально закінчених програмно-апаратних комплексів (ПАК), які здатні забезпечити виконання певного обсягу завдань. Нині у світі застосовуються ПАК радіомоніторингу кількох провідних виробників. При чому, закладені в них (базові) можливості жорстко визначені, не адаптовані до національного законодавства та нормативних вимог окремих країн, а вихідні інтерфейси, як правило, не адаптовані до мови в більшості країн світу. Тому будь-які зміни (доопрацювання програмного забезпечення) потребують додаткових, іноді досить значних, фінансових витрат. Як приклад, можна відмітити, що в більшості країн колишнього СРСР чинні нормативні засади визначають проведення вимірювання ширини смуги частоти радіовипромінювання методом за критерієм X дБ, наприклад, на рівні мінус 30дБ. Цей метод нині реалізований в усіх комплексах радіомоніторингу українського та російського виробництва. Але перші редакції Рекомендації ІТУ-R SM.443 визначали проведення вимірювання зазначеного параметра лише методом за критерієм відношення потужностей.

2. Обмежені фінансові можливості більшості країн світу щодо упровадження повноцінної СРЧМ зумовлюють поетапне розгортання АСРМ із поступовим нарощуванням кількості її елементів, що передбачає ієрархічну („рівневу“) структуру системи. Це потребує наявності певного „асортименту“ засобів радіомоніторингу для будь-якого рівня системи. 3. Існування органів радіочастотного контролю до початку побудови АСРМ передбачає наявність деякого діючого радіоконтрольного обладнання (можливо, від кількох виробників). Тому однією з вимог до ПАК радіомоніторингу є необхідність інтеграції до нього існуючого обладнання, хоча більшість сучасних ПАК не можуть забезпечити програмну підтримку старого обладнання. З цієї точки зору доцільно орієнтуватися на більш „гнучкі“ ПАК.



Оскільки в Україні відсутні нормативні вимоги до радіоконтрольного обладнання та станцій радіомоніторингу, а наведені в документах МСЕ вимоги до них носять характер рекомендацій, то з точки зору нормативного характеру вимог доцільно звернути увагу на керівний документ Російської Федерації РД-45.193 [179]. Нині його можна розглядати як найповніший документ, який у певній мірі визначає загальні технічні вимоги до автоматизованого обладнання станцій (комплексів) радіомоніторингу.

Основні вимоги до засобів радіомоніторингу, спрямовані на мінімізацію та уніфікацію апаратури й ПЗ, базуються на таких принципах [10]:

- універсальність та багатофункціональність базового засобу радіомоніторингу кожної категорії;
- універсальність і багатофункціональність додаткових пристроїв;
- забезпечення сумісної роботи базового засобу з додатковими пристроями, загальними для всіх категорій засобів радіомоніторингу;
- уніфікація апаратури різних категорій;
- уніфікація ПЗ із використання типових модулів, форматів даних та інтерфейсів для різних категорій;
- раціональний розподіл завдань щодо оброблення інформації між апаратними сигнальними процесорами та керівною ПЕОМ;
- створення бібліотек кодів для базового комплексу кожної з категорій;
- комплексне вирішення завдань ЕМС.

Часткове скорочення номенклатури засобів радіомоніторингу може бути досягнуто за рахунок застосування функціонально-блочного принципу побудови засобів кожної категорії шляхом об'єднання базового засобу радіомоніторингу та додаткових пристроїв, загальних для всіх категорій. Мінімальна кількість засобів досягається за рахунок обмеження частотного діапазону базового засобу та наступного його розширення додатковими пристроями (приладами).

Реалізація принципу багатофункціональності передбачає скорочення складу засобів радіомоніторингу за рахунок використання цифрового апаратного блоку з можливістю швидкого перепрограмування в разі застосування різних алгоритмів оброблення сигналів, суміщення функцій в окремих пристроях, а також ефективного розподілу завдань між модулями ПЗ, яке використовується в цифровому апаратному блоці.

Застосування принципу роздільного виконання базового засобу та додаткових пристроїв (під час роботи в діапазоні НВЧ) забезпечує збільшення чутливості за рахунок застосування додаткового перетворювача сигналів безпосередньо біля антени при її розташуванні на щоглі, а також, крім усього іншого, додатковий механічний захист апаратного блоку.

Оптимізація вибору обладнання може базуватися на застосуванні великої кількості критеріїв, але загальноприйнята оптимізація для вирішення всіх завдань радіомоніторингу навряд чи можлива. В ряді випадків за основний показник ефективності засобу радіомоніторингу можна прийняти ймовірність виконання завдань радіомоніторингу за визначений інтервал часу, яка визначається швидкістю панорамного огляду. За деякими оцінками [5, 10], для виявлення (з імовірністю 0,5) безперервного сигналу тривалістю 3 мс у смузі частот пошуку шириною 1,8 ГГц достатньою вважається швидкість сканування 300 МГц/с.

Як відомо, основу будь-якого засобу радіомоніторингу складає панорамний РПП,

який забезпечує виконання функцій панорамного аналізу та виявлення радіосигналу під час пошуку. Тому загальна ефективність засобу радіомоніторингу може визначатися такими технічними можливостями й параметрами РПП:

- швидкість панорамного спектрального аналізу;
- динамічний діапазон за інтермодуляцією 3-го та 2-го порядку;
- розрізнявальна здатність за частотою;
- чутливість;
- діапазон робочих частот;
- смуга одночасного огляду;
- стабільність опорної частоти;
- рівень заглушення сигналів, прийнятих паразитними каналами. Однією з найважливіших характеристик РПП, які використовуються в

засобах радіомоніторингу, є діапазон робочих частот. Нині його нижня межа для переважної більшості РПП становить 9 кГц або 30 МГц, а верхня - сягає 3 ГГц. Розширення діапазону частот („вгору" до 6 ГГц, 7 ГГц, 18 ГГц, 26,5 ГГц тощо) забезпечується шляхом використання додаткового обладнання (конверторів).

Використання в якості базового цифрового РПП із застосуванням додаткового обладнання забезпечує вирішення будь-яких завдань радіомоніторингу за мінімальних витрат на модернізацію його засобів.

Для якісного вирішення завдань радіомоніторингу сучасними засобами радіомоніторингу достатніми вважаються такі значення їхніх параметрів:

- динамічний діапазон - (70 - 80) дБ;
- розрізнення за частотою - (6 - 8) кГц;
- рівень заглушення сигналів, прийнятих паразитними каналами - не менше 70 дБ;
- відносна нестабільність частоти опорного гетеродина- на гірше  $10^{-7}$ .

В Керівному документі РД-45 визначені категорії обладнання радіомоніторингу Російської Федерації, вимоги до завдань, які воно повинні забезпечувати, та режими роботи (табл. 9.1, де значком „+" зазначено обов'язкове виконання, значком „-" - не обов'язкове).

№ з/п	Найменування завдань та режимів роботи	Категорія обладнання		
		А	Б	В
1	Контроль завантаження (зайнятості) РЧС та визначення ступеня використання смуг частот:			
1.1	- послідовний перегляд зайнятості смуг (списку) частот	+	+	+
1.2	- можливість одночасного проведення вимірювання параметрів радіовипромінювання та запису сигналів	+	+	-
1.3	- панорамний (широкосмуговий) перегляд зайнятості смуги частот	+	-	-
2	Контроль та вимірювання параметрів радіовипромінювання:			
2.1	- частоти	+	+	+
2.2	- рівня	+	+	+
2.3	- напруженості електромагнітного поля	+	+	-
2.4	- ширини смуги частот методом за критерієм X дБ	+	+	-
2.5	- ширини смуги частот методом за критерієм відношення потужностей	+	(за одним методом)	-
2.6	- параметрів модуляції	+	+	-
3	Розпізнавання радіосигналів, пошук та ідентифікація ДРВ і радіозавод:			
3.1	- прослуховування сигналів	+	+	+
3.2	- спостереження спектра сигналів на аналізаторі спектра	+	+	+
3.3	- автоматичний аналіз сигналів, що приймаються (декодування сигналів та інші методи оброблення)	+	+	-
3.4	- визначення напрямку на ДРВ (у тому числі, радіозаводи)	+	+	-
3.5	- визначення місцезнаходження ДРВ окремою станцією	+	-	-
3.6	- порівняння параметрів виявлених ДРВ із параметрами РЕЗ, які зберігаються у базі даних	+	+	-
3.7	- розпізнавання побічних випромінювань	+	+	-
4	Режими управління:			
4.1	- локальне оператором	+	+	-
4.2	- дистанційне чи робота в мережі	+	+	-

Інформаційну основу АСРМ складають автоматизовані стаціонарні (фіксовані) станції радіомоніторингу, які вирішують завдання радіомоніторингу в межах визначеної зони радіодоступності. При цьому стаціонарні станції радіомоніторингу розгортаються на стаціонарних РКП і функціонують в автоматизованому режимі або у режимі online (під керуванням оператором). Стаціонарні комплекси (станції) радіомоніторингу за своїм призначенням і функціональністю поділяються на:

- комплекси (станції) виявлення та технічного аналізу;
- багатофункціональні комплекси радіомоніторингу.

На відміну від першої групи комплексів багатофункціональні комплекси радіомоніторингу забезпечують виконання розширеного кола завдань, у тому числі, й пеленгування ДРВ. Для забезпечення визначення місцезнаходження ДРВ стаціонарними засобами у великих містах розгортається мережа із декількох стаціонарних РКП оснащених багатофункціональними комплексами радіомоніторингу з функціями радіопеленгування.

Стаціонарні віддалені комплекси (станції) виявлення та технічного аналізу повинні бути повністю автоматизовані й мати можливість роботи у двох

режимах:

- в режимі online (як автономні під керуванням оператором);
- в режимі дистанційного керування, за яким станція радіомоніторингу автоматично виконує планові завдання радіомоніторингу, які надійшли з пункту управління РПРМ.

Такі станції радіомоніторингу розгортаються з метою збільшення розмірів зони радіодоступності РПРМ і забезпечення виявлення радіовипромінювань, інструментального оцінювання їхніх параметрів і моніторингу стану електромагнітної обстановки в окремих містах країни.

Мобільні (рухомі) комплекси (станції) радіомоніторингу призначені для вирішення завдань радіомоніторингу за межами зони радіодоступності стаціонарних станцій радіомоніторингу, а також у тих місцях, де проведення радіомоніторингу стаціонарними засобами неможливо. В деяких випадках мобільні комплекси радіомоніторингу можуть додатково оснащуватися портативним обладнанням для проведення спеціальних вимірювань у місцях, де його проведення іншими засобами неможливо, наприклад, на дахах будівель.

На відміну від стаціонарних і мобільних засобів портативне обладнання за своїми функціональними можливостями в більшості випадків здатне забезпечувати радіоконтроль у більш високих діапазонах частот.

У зв'язку з обмеженою дальністю поширення радіохвиль у діапазонах УВЧ/НВЧ, стаціонарні станції радіомоніторингу рекомендовано [1] розташовувати поблизу місць із максимальним зосередженням людської діяльності. Ідеальним варіантом організації РПРМ є такий, за якого кожен населений пункт був би охоплений щонайменше двома радіопеленгаторами, що дозволяло б визначати місцезнаходження будь-якого РЕЗ. Але така структура вважається недоцільною з економічної точки зору. Загальні розміри зони відповідальності однієї РПРМ, оснащеної стаціонарними й мобільними засобами радіомоніторингу, згідно з [1] становлять близько (150 - 200) км, що зумовлено необхідністю виконання завдань радіомоніторингу рухомими підрозділами протягом робочого дня.

На автоматизовані станції радіомоніторингу покладається виконання однотипних завдань, які регулярно повторюються, а саме: вимірювання частоти, рівня та напруженості електромагнітного поля, ширини смуги частот, параметрів модуляції сигналу, зайнятості спектра, аналіз сигналів, радіопеленгування ДРВ, а також розпізнавання станцій і виявлення їхніх позивних.

Досить часто на автоматизовані станції радіомоніторингу покладається виконання додаткових завдань, таких як:

- контроль, демодуляція та декодування сигналів, запис звукових сигналів;
- вимірювання параметрів радіовипромінювання (рівня сигналу або напруженості електромагнітного поля, параметрів модуляції, зсуву частоти) та їхній аналіз;
- радіопеленгування ДРВ;
- порівняння вимірних параметрів із зазначеними в дозвільних документах;
- попередження про виявлення (наявність) незаконно діючих передавачів або передавачів, які порушують вимоги дозвільних документів.

## 9.4 Загальні принципи побудови стаціонарних станцій радіомоніторингу

Узагальнена блок-схема комплексної станції радіомоніторингу, за якою визначений мінімальний комплект обладнання, необхідного для проведення якісного радіомоніторингу, зображена на рис. 9.1. База даних містить у собі інформацію стосовно облікових даних ліцензування та частотних присвоєнь РЕЗ і забезпечує безпосередній зв'язок через інтерфейс з БД системи управління використанням спектра.

Варіант блок-схеми віддаленої багатоканальної станції радіомоніторингу для діапазону частот від 9 кГц до 3 ГГц зображений на рис. 9.2 [1].

Радіопеленгаторне обладнання, яким нині оснащуються стаціонарні станції радіомоніторингу, забезпечує пеленгування в діапазонах частот СЧ/ВЧ (від 300 кГц до 30 МГц) або в ДВЧ/УВЧ (від 30 МГц до 3 ГГц). На станціях радіомоніторингу радіопеленгаторне обладнання може об'єднуватися із засобами вимірювальної техніки або складатися із окремих блоків.

Системи, до складу яких входять декілька вимірювальних РПП, характеризуються більшою швидкістю порівняно із системами з одним одноканальним РПП. Крім того, застосування багатоканальних РПП забезпечує можливість одночасного виконання кількох різноманітних завдань, зокрема:

- виявлення радіовипромінювань;
- моніторинг завантаження спектра (зайнятість);
- інструментальне оцінювання технічних параметрів випромінювання;

кореляційний аналіз радіозавад.

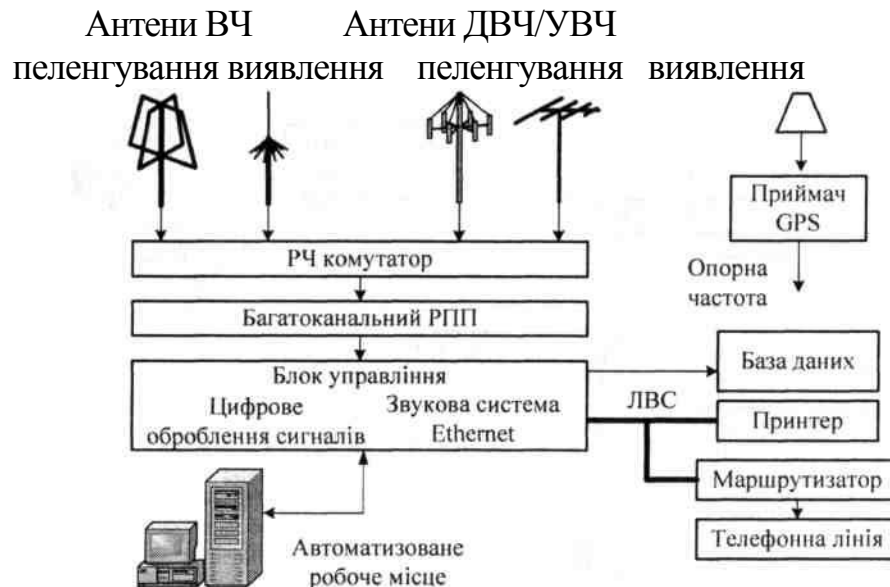
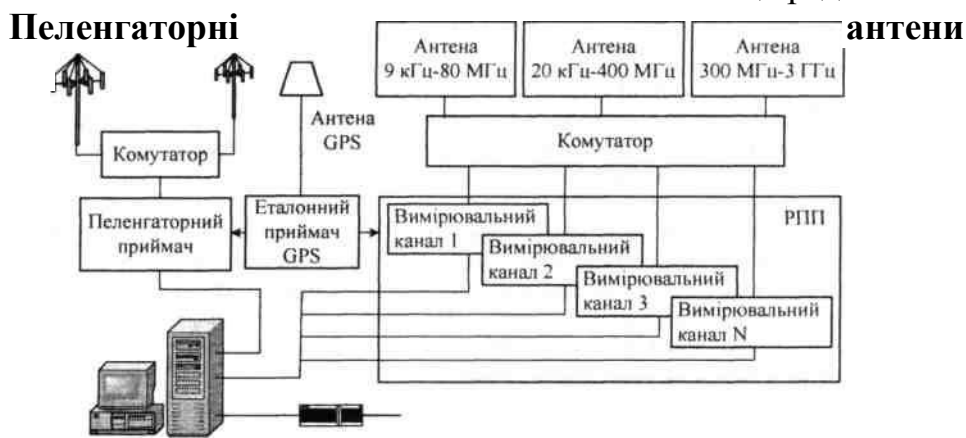


Рис. 9.1. Узагальнена блок-схема комплексної станції радіомоніторингу



**300 кГц-30 МГц 20 МГц-3 ГГц**

Рис. 9.2. Блок-схема віддаленої багатоканальної СРМ для діапазону частот від 9 кГц до 3 ГГц

На рис. 9.3 зображена узагальнена блок-схема станції радіомоніторингу, призначеної для спостереження за роботою супутникових станцій [1].



Рис. 9.3. Блок-схема станції радіомоніторингу випромінювання РЕЗ супутникового зв'язку

АС такої станції радіомоніторингу призначена для приймання сигналів РЕЗ, розміщених на конкретних супутниках, слідкування за якими забезпечують позиціонери. Керування роботою станції може здійснюватися в режимі online із пульта оператора, через локальну мережу Internet або високошвидкісну лінію зв'язку.

РПП ДВЧ/УВЧ використовується для оброблення вузькосмугових сигналів на виході ПЧ 70 МГц (або 140 МГц). Демодулятори й декодери забезпечують контроль параметрів модуляції та якості передавання даних.

Широкосмуговий аналізатор забезпечує:

- приймання із виходу РПП НВЧ сигналів із шириною смуги частот до 40 МГц та їхнє перетворення до цифрової форми;
- відображення широкосмугових сигналів у смугі частот РПП НВЧ;
- аналіз сигналів і визначення їхньої поляризації.

Вузькосмуговий аналізатор спектра застосовується для аналізу аналогових та цифрових сигналів і виконує такі функції:

- приймання сигналів із шириною смуги частот до 2 МГц та їхнє перетворення до цифрової форми;

- відображення спектра в смузі частот фільтра;

- аналіз сигналу та розпізнавання його поляризації.

## 9.5 Загальні вимоги до обладнання та засобів вимірювальної техніки

Технічну основу засобів радіомоніторингу та радіоконтролю складають обладнання та засоби вимірювальної техніки, які забезпечують первинне оброблення радіосигналів (виявлення, фільтрацію, декодування, спектральне оброблення тощо), а також інструментальне оцінювання параметрів і визначення характеристик радіосигналів. До них, зокрема, відносяться:

- радіоприймальні пристрої (РПП);

- засоби аналізу спектра;

- спеціалізовані засоби та обладнання.

Один із варіантів їхньої класифікації наведений на рис. 9.4.

Найширшого застосування у складі засобів радіомоніторингу та радіоконтролю знайшли вимірювальні, моніторингові та пеленгаційні РПП і аналізатори спектра. При цьому, сфера застосування кожного з них обмежується його функціональними можливостями.

Вимірювальний радіоприймальний пристрій - це РПП, який має *нормовані метрологічні характеристики* і призначений для проведення спектрального аналізу і вимірювання рівня, частоти та інших параметрів радіосигналів.

Моніторингові (або скануючі) приймачі мають високу чутливість і вибірковість, що забезпечує їхню завадостійкість та надійність за умов впливу потужних імпульсних, флуктуаційних і зосереджених за спектром радіозавад.

Панорамні приймачі представляють собою РПП із широкою смугою пропускання (від сотень герц до кількох десятків мегагерц) з можливістю відображення спектрального складу сигналів і високою швидкістю спектрального аналізу (від сотень мегагерц за секунду до десятків гігагерц за секунду).

Пеленгаційні радіоприймальні пристрої - це РПП, які забезпечують селекцію та підсилювання радіосигналів з інформацією про азимут і (або) кут місця ДРВ.

Векторні аналізатори спектра призначені для дослідження радіосигналів складної структури (наприклад, сигналів із квадратурною модуляцією), а також ВЧ імпульсних та нестационарних процесів, параметри сигналів яких важко, а, в більшості випадків, і неможливо оцінити за допомогою звичайних приладів, тому що для отримання вичерпних відомостей стосовно модуляції та характеристик цих сигналів у часовій та частотній областях потрібно досліджувати двокомпонентний (векторний) процес, який відображає зміни з часом амплітуди й фази вихідного сигналу.

Аналізатори сигналів призначені для дослідження форми та характеристик сигналів безпосередньо у ВЧ трактах і, як правило, застосовуються для налаштування обладнання.

Аналізатори спектра - пристрої, призначені для отримання спектрів фізичних процесів, тобто для спостереження, вимірювання та відображення *відносного розподілу* енергії електричних (електромагнітних) коливань у смузі частот. Строго

кажучи, аналізатори спектра не є засобами вимірювання, але, завдяки своїм можливостям більшість із них можна застосовувати для оцінювання параметрів радіовипромінювання та радіосигналів.

Селективні мікровольтметри - вольтметри, до складу яких входять вузькосмугові фільтри з можливістю перестроювання їхніх смуг пропускання, що дозволяє вимірювати рівні напруги в смузі частот значної ширини, аж до окремих гармонік спектра. Сучасні селективні мікровольтметри відрізняються від аналізаторів спектра лише застосуванням „ручного” перестроювання та відсутністю панорамного відображення. Вони забезпечують вимірювання рівнів сигналів на виході антенного тракту в заданій смузі частот, тому можуть використовуватися під час проведення вимірювання параметрів радіосигналів у високочастотних трактах передавачів.

До обладнання, що застосовується в засобах радіомоніторингу відносять конвертори, підсилювачі, змішувачі, комутатори, антенно-фідерні пристрої, атенуатори тощо.

## 9.6 Основні параметри та характеристики РПП і аналізаторів спектра

До основних параметрів, які визначають технічні можливості РПП і аналізаторів спектра (надалі - вимірювальні прилади), відносяться такі [183]:

- 1) діапазон робочих частот;
- 2) амплітудно-частотна характеристика та нерівномірність коефіцієнта передавання в діапазоні робочих частот;
- 3) коефіцієнт стоячої хвилі за напругою на вході РПП;
- 4) чутливість;
- 5) розрізнення за частотою;
- 6) ширина смуги частот відеофільтра;
- 7) максимальний рівень вхідного сигналу;
- 8) фазовий шум;
- 9) точки перетину 2-го та 3-го порядку;
- 10) точка компресії 1 дБ;
- 11) динамічний діапазон;
- 12) заглушення радіозавад за дзеркальним каналом.

**1. Діапазон робочих частот** вимірювального приладу характеризується нижньою та верхньою границями частот, у межах яких забезпечуються його основні характеристики. З точки зору відмінності структурних схем вимірювальних приладів діапазони вхідних частот можна розділити на:

- діапазон НЧ - до 1 МГц;
- діапазон ВЧ - до 3 ГГц;
- мікрохвильовий діапазон - до 40 ГГц;
- міліметровий діапазон - понад 40 ГГц.

Діапазон НЧ (до 1 МГц) виділений для пристроїв низькочастотної електроніки, акустики та медицини, тому вимірювальні прилади цього класу для потреб радіомоніторингу не використовуються. До недавнього часу у сфері радіомоніторингу застосовувалися вимірювальні засоби, які забезпечують аналіз і вимірювання параметрів сигналів у діапазоні до 3 ГГц, але нині з'явилося багато засобів із верхньою межею частотного діапазону 26,5 ГГц і навіть 40 ГГц. Зазвичай,

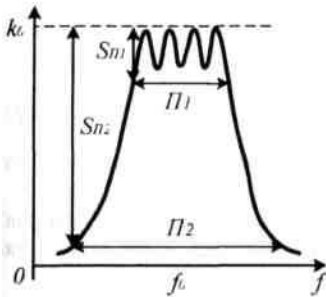


нижня частота діапазону обмежується на рівні 9 кГц або 30 МГц.

**2. Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) лінійного тракту** - це залежність коефіцієнта передавання  $k$  вимірювального приладу від частоти. Приклад АЧХ лінійного тракту приладу зображений на рис. 9.5.

Кількісно АЧХ оцінюється параметрами:

- вибірковість  $1/k_{df}$  за заданого розстроювання частоти  $\Delta f$ ;
- смуга пропускання  $\Pi_1$  за заданої нерівномірності АЧХ у ній  $S_{\Pi_1}$ ;
- нерівномірність АЧХ у смузі частот пропускання  $S_{\Pi_1}$ ;
- коефіцієнт прямокутності  $\Pi_2/\Pi_1$  за заданих рівнів ослаблення  $S_{\Pi_1}/S_{\Pi_2}$ .



На практиці коефіцієнт передавання тракту вимірювального приладу  $k$  змінюється в залежності від частоти. Зазвичай у межах одного піддіапазону нерівномірність АЧХ змінюється плавно, але в місцях стикування піддіапазонів у загальній АЧХ можуть спостерігатися розриви, пов'язані з комутацією тракту РПП у разі переходу з одного піддіапазону до іншого.

Рис. 9.5. Приклад АЧХ

**Нерівномірність коефіцієнта передавання  $S_K$**  визначається як відносне відхилення максимального значення коефіцієнта передавання  $k_{max}$  від його середнього значення  $k_0$ :

$$S_K = 20 \lg [(k_{max} - k_0) / k_0]. \quad (9.1)$$

**3. Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою на вході РПП (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR).** Якщо вхідний імпеданс (комплексний опір) РПП не узгоджений із хвильовим опором кабелю антенно-фідерної системи, то не вся потужність, що передається кабелем від антени, буде поступати в приймач, оскільки частина потужності прийнятого сигналу буде відбиватися зворотно. При цьому відбитий сигнал буде складатися з прямим, коли їхні фази співпадають, і відніматися у випадку протилежних фаз, що призведе до появи в кабелі низки максимумів і мінімумів напруг з інтервалами, рівними половині довжини хвилі. Такий режим характеризується коефіцієнтом стоячої хвилі за напругою (КСХН)  $S$ , який визначається за формулою

$$S = U_{max} / U_{min}. \quad (9.2)$$

Оскільки  $U_{MAX} = U_{ПАЛ} + U_{ВІДБ}$ , а  $U_{MIN} = U_{ПАЛ} - U_{ВІДБ}$ , де  $U_{ПАЛ}$  і  $U_{ВІДБ}$  - відповідно напруга падаючого (прийнятого) та відбитого сигналів, то вираз (9.2) можна записати у виді

$$S = \frac{1 + U_{ВІДБ} / U_{ПАЛ}}{1 - U_{ВІДБ} / U_{ПАЛ}} = \frac{1 + \sqrt{P_{ВІДБ} / P_{ПАЛ}}}{1 - \sqrt{P_{ВІДБ} / P_{ПАЛ}}}, \quad (9.3)$$

де  $P_{ПАЛ}$  і  $P_{ВІДБ}$  - потужності падаючого й відбитого сигналів.

У разі, якщо вхідний опір РПП має активний характер і дорівнює хвильовому опору вхідного кабелю, то  $S = 1$ , тобто відбита потужність

повністю відсутня. Якщо рівень відбитої потужності становить 10 % від рівня падаючої, то  $s \approx 2$ , якщо 25 % - на  $s \approx 3$ . практиці для вхідних пристроїв РПП вважається припустимим  $s < 3$ .

**4. Чутливість** вимірювального приладу визначає міру його здатності забезпечувати приймання слабких сигналів. Зазвичай для характеризування чутливості, наприклад, РПП, використовують такі параметри:

- коефіцієнт шуму РПП;
- середній рівень шуму, що відображається;
- гранична чутливість;
- максимальна чутливість.

*Коефіцієнт шуму  $K_{ш}$*  РПП визначається за формулою

$$K_{ш} = \frac{S_{ВХ} / N_{ВХ}}{S_{ВИХ} / N_{ВИХ}}, \quad (9.4)$$

де  $S_{ВХ} / N_{ВХ}$  і  $S_{ВИХ} / N_{ВИХ}$  - відношення сигнал/шум відповідно на вході та виході пристрою.

Значення коефіцієнта шуму суттєво залежить від рівня затухання атенюатора, тому максимальна чутливість досягається тоді, коли затухання дорівнює нулю.

*Середній рівень шуму, що відображається*, (DANL, Displayed average noise level) є найчастіше застосовним параметром, тому що, з одного боку, може бути безпосередньо легко визначений за зображенням на дисплеї вимірювального приладу, з іншого боку - він має найменше значення серед усіх інших параметрів, що характеризують чутливість. Середній рівень шуму, що відображається, відповідає шумовій напрузі на виході детектора обвідної. В разі гаусівських шумів для вимірювання рівня шуму, зазвичай, використовують детектор вибірки. При цьому значення середнього рівня шуму на 1,05 дБ нижчі, ніж для середньоквадратичного детектора, а в разі усереднення результатів за логарифмічною шкалою шум, що відображається, зменшується ще на 1,45 дБ (тобто в разі застосування детектора вибірки виміряне значення рівня шуму на 2,5 дБ менше, ніж для середньоквадратичного детектора).

*Гранична чутливість* визначається як значення мінімального рівня вхідного гармонійного сигналу, який забезпечує перевищення його рівня над рівнем шуму на екрані вимірювального приладу на 3 дБ. Оскільки на екрані приладу відображається сумарне значення вхідного сигналу  $S$  і шуму  $N$  ( $S + N$ ), то ця умова виконується лише, якщо рівень вхідного сигналу дорівнює ефективному рівню власних шумів:

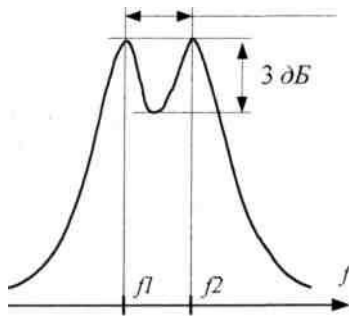
$$\frac{S+N}{N} = 2 \quad \text{або} \quad 10 \log \left( \frac{S+N}{N} \right) = 3 \text{ дБ.}$$

*Максимальна чутливість* вимірювального приладу визначається як значення граничної чутливості за умови встановлення затухання атенюатора рівним 0 дБ.

**5. Розрізнення за частотою** (Radio Bandwidth, RBW) або **розрізнявальна здатність за частотою** - це міра здатності вимірювального приладу розрізнявати два гармонійні сигнали в частотній області.

*розрізнявальна здатність*

За визначенням Рекомендації ITU-R SM.182 [83] розрізняльна здатність за частотою - це найменша різниця частоти між двома



різними сигналами з несучими частотами  $f_1$  та  $f_2$  одного рівня, які можуть спостерігатися окремо на екрані дисплея, з різницею 3 дБ між максимальними рівнями випромінювань та мінімальним рівнем між ними (рис. 9.6).

Для аналогового вимірювального приладу значення розрізнення за частотою визначається шириною смуги пропускання фільтра: чим вона менша, тим вища розрізняльна здатність за частотою для цього приладу.

Сучасні РПП й аналізатори спектра побудовані за схемою супергетеродинного приймача з наступним засто відеофільтра, зазвичай, задають рівною значенню розрізнення за частотою, в разі низького відношення сигнал/шум для покращення зображення на екрані дисплея ширину смуги частот відеофільтра потрібно зменшувати. У випадку виконання вимірювання за умов впливу шумів доцільно звужувати ширину смуги частот відеофільтра, при цьому пікові значення шумів усереднюються. Для аналізу імпульсних сигналів значення ширини смуги частот відеофільтра треба задавати набагато більшим значення розрізнення за частотою.

**7. Максимальний рівень вхідного сигналу  $U_{max}$**  визначає найбільше значення рівня сигналу, яке ще безпечно для вхідних каскадів вимірювального приладу. Для запобігання їхньому пошкодженню цей рівень не повинен перевищуватися. В разі застосування на вході приладу ВЧ атенюатора для ослаблення вхідного сигналу його максимальний рівень визначається навантажувальною здатністю атенюатора. Якщо ослаблення ВЧ сигналу на вході приладу відсутнє, то цей рівень визначається першим змішувачем. Крім того, для вимірювальних приладів із гальванічним зв'язком вхідних каскадів за постійним струмом  $U_{max}$  він відповідає значенню максимально допустимої постійної напруги на його вході.

В разі аналізу імпульсних сигналів енергетичні обмеження вхідного сигналу визначаються максимально допустимою імпульсною потужністю  $P_{iim}$ , яка залежить від тривалості імпульсу  $t_{iim}$ :

$$(9.8) \text{ де } E_{iim} - \text{енергія}$$

імпульсу.  $P_{iim} = E_{iim} / t_{iim}$ ,

За умови однакового значення енергії  $E_{iim}$  для імпульсів із різною тривалістю імпульсна потужність  $P_{iim}$  буде вищою для коротких імпульсів. Для імпульсів із прямокутною обвідною значення пікової напруги  $U_{iim}$  визначається за формулою

$$U_{iim} = \sqrt{P_{iim} \times R}, \quad (9.9) \text{ де } R - \text{вхідний опір вимірювального}$$

приладу.

**8. Фазовий шум (phase noise)** як міра короточасної стабільності генераторів у вимірювальних приладах характеризує рівень шуму в смузі частот 1 Гц відносно рівня несучої частоти. Наявність фазового шуму призводить до розширення („розпливання“) спектра сигналу опорного генератора (синтезатора частоти) внаслідок нестабільності роботи системи фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ), збільшення рівня шуму, що відображається, і, як наслідок, зменшення динамічного діапазону.

Для позначення рівня фазового шуму застосовують одиницю виміру дБн (1 Гц) або дБн/Гц, де індекс „н” відноситься до позначення несучої частоти (в науково-технічній літературі іноді використовують позначення dBc/Hz, де індекс „с” також стосується позначення несучої частоти - „carrier”). Оскільки рівень фазового шуму зазвичай менший рівня несучої частоти, то його числове значення подається з від’ємним знаком.

**9. Точки перетину другого та третього порядків** характеризують міру нелінійності приймального тракту вимірювального приладу, зумовленої наявністю напівпровідникових компонентів (у змішувачах, підсилювачах, детекторах тощо). Нелінійність тракту призводить до спотворень сигналу в ньому за рахунок появи гармонік вхідного сигналу з частотами (навіть за умови надходження на вхід одного гармонійного  $f_{\text{вх}} = n f_{\text{св}}$  сигналу з частотою  $f_{\text{св}}$ ), а також інтермодуляційних спотворень (які іноді називаються різницево-частотними спотвореннями) на комбінаційних частотах  $f_{n+m}$  комб В

сигналу або двох потужних сигналів з різними частотами  $f_{n+m \text{ комб}} = |n f_{\text{св}1} \pm m f_{\text{св}2}|$  разі надходження на вхід вимірювального приладу потужного двочастотного

(9.10) де  $n$  і  $m$  - порядкові номери взаємодіючих гармонік.

Рівні спотворень сигналів залежать від порядку  $n$  і  $m$  відповідних гармонік і рівня вхідного сигналу. Вважається, що варіація рівня вхідного сигналу на 4 дБ призводить до варіації рівня  $n$ -ої гармоніки на  $n$  Л дБ.

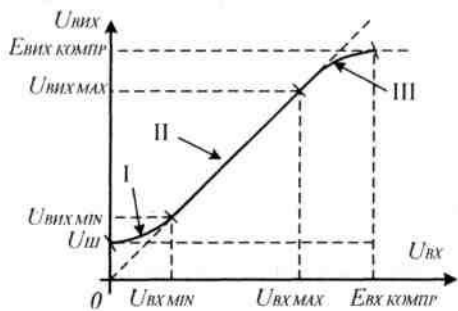


Рис. 9.7. Приклад АХ тракту тракту поділяється на три ділянки: ділянка суперпозиції сигналу та шумів - I (між точкою  $U_{ш}$  і

точкою, що відповідає  $U_{ВХ MIN}$ ), лінійна ділянка - II (між точками, що відповідають  $U_{ВХ MIN}$  і  $U_{ВХ MAX}$ ), ділянка перевантаження - III (між точками, що відповідають  $U_{ВХ MAX}$  і  $E_{ВХ КОМПР}$ ). На ділянці II АХ ідеального та реального трактів співпадають і представляють пряму лінію, кут нахилу якої визначає коефіцієнт передавання тракту за напругою. На ділянці I (за умови якщо АХ реального тракту не проходить через початок

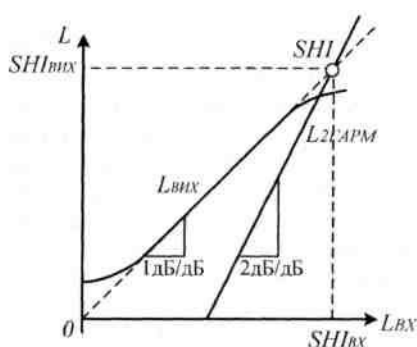
координат,  $U_{ВХ} < U_{ВХ MIN}$ ) тому що на виході тракту завжди присутній сигнал, зумовлений впливом флуктуаційних шумів і радіозавад тракту. На ділянці III (за умови  $U_{ВХ} > U_{ВХ MAX}$ ) АХ реального тракту стає більш пологою, що пов'язано з перевантаженням тракту внаслідок великих рівнів сигналів. Для нормальної роботи вимірювального приладу повинна виконуватися умова

$$U_{ВХ MIN} < U_{ВХ} < U_{ВХ MAX}$$

Залежність амплітуди (чи діючого значення) вихідного сигналу від амплітуди (діючого значення) вхідного сигналу називається амплітудною характеристикою (АХ) тракту приладу (або його окремих каскадів).

Приклад АХ тракту наведений на рис. 9.7 (штриховою лінією позначена АХ ідеального тракту, суцільною - реального). Характеристика реального

Для одночастотного сигналу технічні характеристики вимірювального приладу в частині нелінійних спотворень визначаються параметром, який називається точкою перетину основної гармоніки  $L_{ВХ}$  із другою гармонікою



$L_{2ГАРМ}$  (рис. 9.8) і позначається як *SHI* {*Second Harmonic Interception*). Значення *SHI* відповідає фіктивному рівню вхідного  $SHI_{ВХ}$  або вихідного  $SHI_{ВХ}$  сигналу, за якого друга гармоніка на виході тракту досягла б рівня основної гармоніки. На практиці ця точка недосяжна, оскільки приймальний тракт уже за менших рівнів вхідного сигналу переходить у режим насичення.

Якщо інтермодуляційні продукти з парними

Рис. 9.8. Визначення *SHI* номерами (в разі надходження сигналів із різними частотами) завжди виникають далеко від значень основних частот вхідних сигналів, то інтермодуляційні продукти з непарними номерами завжди виявляються безпосередньо поблизу спектра вхідного сигналу. Інтермодуляційні продукти другого порядку в разі двочастотного вхідного сигналу, а також другі гармоніки в разі одночастотного сигналу з'являються завдяки квадратичному члену передаточної функції. Визначення точок перетину другого та третього порядків проілюстровано рис. 9.9.

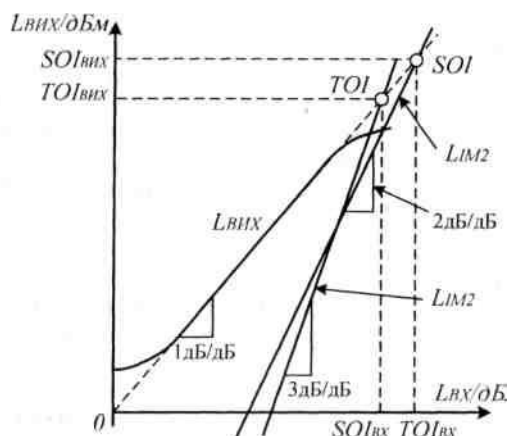


Рис. 9.9. Точки перетину другого (SOI) та третього (TOI)

порядків Найвпливовішими вважаються компоненти із частотами  $f_{SOI}$  і  $f_{TOI}$ , які визначаються за формулами:

$$(9.11)$$

$$f_{SOI} = |f_{ax1} + f_{ax2}|, (n = m = 1),$$

$$f_{TOI} = |n \cdot f_{ax1} - m \cdot f_{ax2}|, (n + m = 3). (9.12)$$

Точка перетину другого порядку (за входом), яка позначається як *IP2* (Interception Point) або *SOI* (Second Order Interception) визначається як рівень вхідного сигналу на одній із частот ( $f_{ax1}$  або  $f_{ax2}$  за умови однакових рівнів сигналів на обох частотах), за якої рівень вихідного сигналу дорівнює рівню продуктів інтермодуляції другого порядку цих сигналів (точка перетину другого порядку за виходом може бути розрахована шляхом збільшення значення *IP2* за входом на величину коефіцієнта підсилення тракту).

Точка перетину третього порядку (за входом) *IP3* або *TOI* (Third Order Interception) визначається як рівень вхідного сигналу на одній із частот ( $f_{ax1}$  або  $f_{ax2}$  за умови однакових рівнів цих сигналів), за якої рівень вихідного сигналу дорівнює

рівню продуктів інтермодуляції третього порядку цих сигналів.

Співвідношення між  $IP_2$  та  $SHI$  (в децибелах) визначається за формулою

$$SHI = IP_2 + 6 \text{ дБ.} \quad (9.13)$$

У характеристиках вимірювальних приладів зазвичай вказуються точки перетину  $SOI (IP_2)$  і  $TOI (IP_3)$  за входом.

**10. Точка компресії 1 дБ** характеризує лінійність тракту вимірювального приладу і визначається як рівень вхідного (вихідного) сигналу, за якого коефіцієнт передавання приймального тракту зменшується на 1 дБ відносно ідеального через наявність ефекту насичення (як правило, точка компресії 1 дБ визначається першим змішувачем і вказується за відсутності ослаблення ВЧ атенюатора). Зазвичай значення точки компресії 1 дБ на (10 - 20) дБ менше значення  $TOI$  (рис. 9.10).

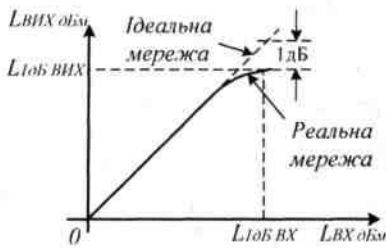


Рис. 9.10 Точка компресії 1 дБ

### 11. Динамічний діапазон (dynamic range)

характеризує здатність вимірювального приладу одночасно обробити сигнали з різним рівнем і визначається як різниця між максимальним рівнем сигналу, що передається без спотворень, та мінімальним рівнем сигналу, що відображається приладом. Виражається в децибелах.

Нижня межа динамічного діапазону визначається рівнем власних шумів або фазового шуму, верхня - рівнем, що відповідає точці компресії 1 дБ або рівнем продуктів спотворення сигналу, що виникають внаслідок перевантаження приладу. Реально динамічний діапазон вимірювального приладу визначається динамічним діапазоном детектора обвідної. Сучасні вимірювальні прилади мають динамічний діапазон понад 100 дБ.

Окрім динамічного діапазону до характеристики вимірювального приладу відноситься також діапазон відображення рівнів, який визначається як різниця між максимальним рівнем вхідного сигналу та середнім рівнем шумів, що відображається приладом. Також виражається в децибелах?

**12. Заглушення радіозавод за дзеркальним каналом** характеризує ступінь заглушення сигналів, які надходять на вхід вимірювального приладу в смузі частот побічних каналів.

Принцип створення дзеркального каналу приймання ілюструється рис.

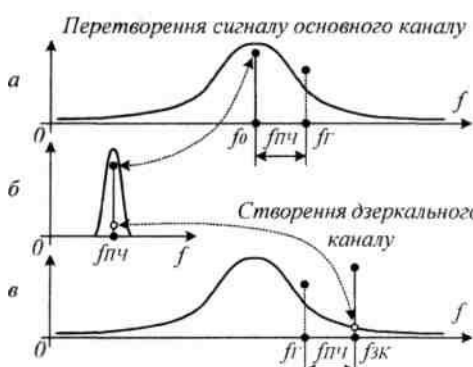


Рис. 9.11 Принцип зміщення частоти

9.11. Смуга частот, в якій знаходиться спектр корисного сигналу з частотою  $f_0$  створює основний канал його приймання. Частотні смуги, які примикають до основного каналу та можуть бути зайняті спектрами сторонніх сигналів, створюють сусідні канали приймання. Поява побічних каналів приймання зумовлена перетворенням частот у супергетеродинних РПП, яке полягає в перенесенні спектра ВЧ сигналу (сигналу на частоті настроювання  $f_0$ ) на іншу (проміжну) частоту  $f_{пч}$  без зміни виду та характеру модуляції. При цьому ( $f_{пч} < f_0$ ).

частота може як збільшуватися ( $f_{пч} > f_0$ ), так і зменшуватися

Перетворювач частоти, зазвичай, складається з малопотужного генератора - гетеродина, який генерує коливання із частотою  $f_1$ , і змішувача, в якому внаслідок

змішування сигналів із частотами  $f_0$  і  $f_1$  виділяється одна з комбінаційних частот, наприклад, із пониженням частоти (рис. 9.11, а, б):

$$f_{пч} = f_1 - f_0. \quad (9.14)$$

Ця комбінаційна частота і є проміжною частотою. Таким чином, у перетворювачі частоти відбувається зміна несучої частоти без спотворення інформації сигналу. Змішувач частот створює спектр комбінаційних частот у разі надходження до його входу двох частот. У ньому відбувається перенесення спектра частот в область ПЧ без порушення амплітудних і фазових співвідношень складників. Однак таким же чином можна прийняти радіовипромінювання, що знаходиться вище частоти гетеродина:

$$f_{пч} = f_0 - f_1. \quad (9.15)$$

Таким чином корисному каналу з прийманням на частоті  $f_c = f_0$  відповідає паразитний канал із прийманням на дзеркальній частоті<sup>^</sup> (рис. 9.11,в):

$$f_{зк} = f_c + 2f_{пч} = f_0 + 2f_{пч}. \quad (9.16)$$

## 9.7 Загальні вимоги до технічних параметрів і характеристик РПП

Типові технічні параметри та характеристики РПП, які застосовуються у складі засобів радіомоніторингу та радіоконтролю регламентуються рекомендаціями МСЕ і наведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2 - Типові технічні параметри та характеристики РПП, рекомендовані МСЕ

Назва параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики для діапазону	
	НЧ/СЧ/ВЧ	ДВЧ/НВЧ
1	2	3
Діапазон частот	від 9 кГц до 30 МГц	від 20 МГц до 3 ГГц
Крок перестроювання за частотою, Гц, не більше	1	10
Відносна похибка настроювання, не більше	$10^{-6}$	$10^{-7}$ з використанням зовнішнього еталонного сигналу
Тривалість настроювання синтезатора, мс, не більше	10	5
Антенний вхід: - номінальне значення вхідного опору, Ом; - КСХ, не більше	50 3	50 2,5
Попередня селекція	використання субоктавних фільтрів	
Точка перетину, дБм, не менше: - другого порядку (SOI) - третього порядку (TOI)	60 (понад 3 МГц) 20 (понад 3 МГц)	40 10
Коефіцієнт шуму, дБ, не більше	15 (понад 2 МГц)	12
Фазовий шум гетеродина, дБн/Гц, не більше	мінус 120 (при зсуві на 10 кГц)	мінус 100 (при зсуві на 10 кГц)
Заглушення радіозавод на ПЧ, дБ, не менше	80	

1	2	3
Заглушення радіозавад дзеркального каналу, дБ, не менше	80	
Ширина смуги пропускання ПЧ (на рівні мінус 6 дБ)	внутрішні або зовнішні фільтри, в основному цифрові, від 0,1 кГц до 10 кГц	внутрішні або зовнішні фільтри, в основному цифрові, від 0,1 кГц до 300 кГц
Вибірковість на рівні від мінус 60 дБ до мінус 6 дБ, $K\Phi_{60\%}$ , не більше	2:1	
Режими детектування, не менше	AM, CW, SSB	AM, FM, CW, SSB
Діапазон дії автоматичного регулювання підсилення, дБ, не менше	120	
Наявність виходу сигналу ПЧ	цифровий	
Робочий діапазон температур	від 0 °С до 45 °С	
Відносна вологість повітря, %, не більше	95 без конденсації	

Загальні вимоги до технічних параметрів і характеристик різних категорій вимірювальних РПП, що визначені Керівним документом РД-45 [179], наведені в табл. 9.3 та табл. 9.4.

Назва параметра	Категорія обладнання			
	А1		А2	
	до 30 МГц	понад 30 МГц	до 30 МГц	понад 30 МГц
1	2	3	4	5
Дискретність настроювання за частотою, Гц, не більше	1	10	10	1000
Нестабільність частоти опорного генератора, не більше за добу	0,1×10 <sup>-6</sup>		10 <sup>-6</sup>	
Час настроювання синтезатора, мс, не більше	-	0,3	-	20
Смуга пропускання, кГц	до 16	до 900	до 9	до 300
Чутливість, мкВ, не менше *	1 (у режимах АМ і ЧМ)			

Кінець таблиці 9.3



1	2	3	4	5
Заглушення радіозавади ПЧ, дБ, не менше	100	90	80	80
Заглушення сигналів дзеркальної частоти, дБ, не менше	100	90	80	80
Точка перетину 2-го порядку, дБм, не менше	70	40	40	30
Точка перетину 3-го порядку, дБм, не менше	40	17	20	10
Коефіцієнт шуму, дБ, не більше	14	8	14 ( $\geq 50$ кГц)	12
Фазовий шум гетеродина, дБ/Гц, не більше	- 120	- 120	- 100	- 100
Протокол дистанційного управління	RS232C			
Діапазон дії АРП, дБ, не менше	140	120	80	120
Детектування, види модуляції, не менше	АМ, ЧМ, USB, LSB			
Функції детекторів, які використовуються	Лінійно усереднена, квазіпікова, пікова, логарифмічна, середньоквадратична			
Хвильовий опір антенного входу, Ом	50			
КСХ, не більше	2,5		3	
Максимально припустима напруга на вході, В, не менше	5	3	5	3
Вхід/вихід опорного генератора, МГц	10			
Вид вихідного сигналу ПЧ	Цифровий і аналоговий		Аналоговий	
Вибірковість на рівні від мінус 60 дБ до мінус 6 дБ, не більше	2:1		від 2:1 до 8:1	
Нерівномірність АЧХ у смузі частот пропускання, $\pm$ дБ, не більше	0,5		1	
Примітка *. Режим вимірювання при ЧМ: SINAD $\geq$ 20 дБ; $\Delta F = 10$ кГц; AF = 1 кГц; при АМ: SINAD $\geq$ 10 дБ; коефіцієнт АМ = 50 %; AF = 1 кГц				

Назва параметра	Категорія обладнання	
	Б	В
1	2	3
Дискретність настроювання за частотою, кГц, не більше	0,1 до 30 МГц 1,0 понад 30 МГц	1,0 до 30 МГц 5,0 понад 30 МГц
Нестабільність частоти опорного генератора, не більше за добу	$5 \times 10^{-6}$	$50 \times 10^{-6}$
Смуга пропускання, ряд значень, кГц	до 150	до 120
Заглушення радіозавади ПЧ, дБ, не менше	50	-
Заглушення сигналів дзеркальної частоти, дБ, не менше	50	-

Таблиця 9.4 - Вимоги до вимірювальних РПП обладнання категорій Б і В

Загальні вимоги до активних вимірювальних антен, що визначені РД-45 [179],  
Кінець таблиці 9 4

1	2	3
Чутливість, мкВ, не менше	3 (в режимах АМ і ЧМ)	10 (в режимах АМ і ЧМ)
Протокол дистанційного управління	RS232C	-
Хвильовий опір антенного входу, Ом	50	
КСХ, не більше	2,5	3
Максимально припустима напруга на вході, В, не менше	3	3
Вид вихідного сигналу ПЧ	аналоговий	аналоговий
Примітка *. Режим вимірювання при ЧМ: SINAD $\geq$ 20 дБ; $\Delta F = 10$ кГц; AF = 1 кГц; при АМ: SINAD $\geq$ 10 дБ; коефіцієнт АМ = 50 %; AF = 1 кГц		

наведені в табл. 9.5.

Таблиця 9.5

Назва параметра	Діапазон		
	ДНЧ і НЧ	СЧ і ВЧ	НВЧ і УВЧ
Коефіцієнт підсилення, дБ (рекомендоване значення)	від 15 до 25	від 10 до 25 (монополь)	–
Точка перетину 2-го порядку, дБм, не менше	50	4 – 5 (диполь)	55
Точка перетину 3-го порядку, дБм, не менше	25	25	30
Напруженість електромагніт- ного поля при рівні кросмо- дуляції 10 дБ, В/м, не менше	10	10	–
Максимально припустима напруженість електромагніт- ного поля на заданій частоті, кВ/м, не менше	200 на 10 кГц 20 на 100 кГц	2 на 1 МГц 0,2 на 10 МГц	0,01 на 1 ГГц

## 9.8 Загальний принцип роботи РПП і аналізатора спектра

Переважна більшість сучасних РПП і аналізаторів спектра, які призначені для проведення аналізу сигналів у діапазонах УВЧ та НВЧ побудовані за супергетеродинним принципом. Це зумовлено труднощами технічної реалізації вузькосмугових фільтрів для огляду широкого діапазону частот в аналізаторах спектра, які базуються на використанні фільтрів із перестроюванням за частотою. Узагальнені функціональні схеми аналізатора спектра та РПП, які працюють за супергетеродинним принципом, наведені відповідно на рис. 9.12 і рис. 9.13. Їхній принцип роботи розглянемо на прикладі аналізатора спектра [1831].

Для забезпечення оброблення та аналізу сигналів з великим рівнем на вході приймального тракту аналізатора спектра використовується атенуатор  $A_t$ , коефіцієнт передавання (рівень радіочастотного ослаблення) якого регулюється, зазвичай, із кроком 10 дБ, але може використовуватися й точніше регулювання з кроком 5 дБ і, навіть, 1 дБ.

Фільтр  $\Phi$  призначений для фільтрації сигналів дзеркального каналу приймання.

Крім того, фільтр забезпечує розв'язку вхідного каскаду з гетеродинною частиною першого змішувача для мінімізації проникнення на ВЧ вхід сигналів ПЧ і гетеродина.

За допомогою першого гетеродина  $G_{ет1}$  і першого змішувача  $Z_{мі}$  спектр вхідного ВЧ сигналу із частотою  $f_{ВЧ}$  переноситься на першу ПЧ яка виділяється (у змішувачі) за допомогою першого фільтра (на схемі  $\cdot^{f_{ПЧ1}}$  не позначений). Для стабілізації частоти гетеродинів використовується опорний генератор ОГ.

У зв'язку зі значним ослабленням рівнів сигналів під час їхнього перетворення для забезпечення подальшого якісного оброблення результуючого сигналу його рівень підвищується за рахунок використання підсилювача проміжної частоти ППЧ1. Далі спектр сигналу переноситься на нижчу частоту (десятки мегагерц) за рахунок застосування каскадів другого (або, навіть, третього) перетворювача, який складається з гетеродина та змішувача частот.

Підсилений аналоговий сигнал з виходу останнього змішувача надходить до аналогового фільтра ФПЧ, який і визначає смугу частот аналізу  $f_{ПЧ2}$ . Для розширення динамічного діапазону вимірювального приладу та наочності відображення спектра сигналу на екрані дисплея може використовуватися підсилювач частоти  $f_{ПЧ2}$  з логарифмічною АХ  $\ln/\log$  ППЧ.

Основна інформація стосовно енергетичних характеристик сигналу міститься в

обвідній ПЧ сигналу, яка виділяється шляхом детектування та фільтрації ВЧ складників сигналу в детекторі обвідної ДО. Потім за допомогою АЦП здійснюється дискретизація відеосигналу (за часом) та квантування (за рівнем).

У виді цифрового потоку символів сигнали надходять до відеофільтра ВФ, який визначає смугу частот відеосигналу та призначений для стабілізації зображення сигналу на екрані дисплея. Крім того, відеофільтр забезпечує зменшення рівня імпульсних шумів.

Сpektри сигналів відображаються на екрані цифрового дисплея. У разі застосування методів ШПФ аналоговий сигнал із частотою  $f_{ПЧ}$  перетворюється в цифрову форму та надходить до модуля, який забезпечує ШПФ. Процедура подальшого оброблення сигналу аналогічна процедурі оброблення аналогового сигналу з реалізацією його в цифровому виді.

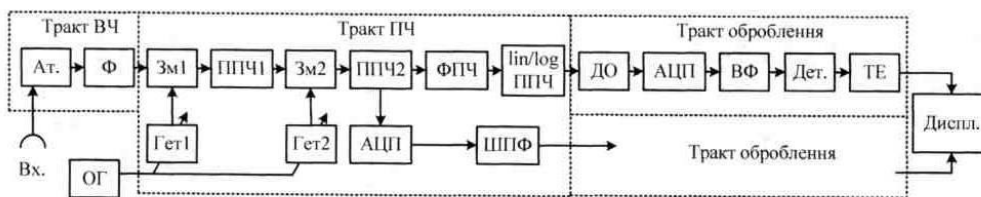


Рис. 9.12 Функціональна схема аналізатора спектра

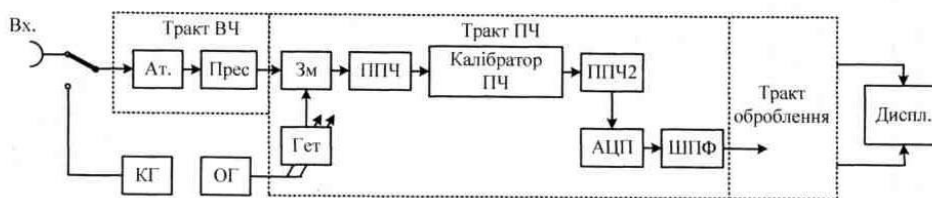


Рис. 9.13. Функціональна схема вимірювального РПП

Для калібрування тракту в складі РПП застосовуються калібрувальні генератори КГ.

Розглянемо на прикладі аналізатора спектра деякі особливості перетворення сигналів під час їхнього проходження через тракту приймання та оброблення.

### Тракт ВЧ

Аналізатори спектра дозволяють виконувати вимірювання в досить великому діапазоні рівнів, який обмежується лише власними шумами та максимально допустимим рівнем вхідного сигналу (в сучасних аналізаторах спектра цей діапазон становить близько 180 дБ (простягається від мінус 147дБм до + 30 дБм). Насправді забезпечити одночасно такий діапазон неможливо, оскільки це вимагає різних режимів роботи для різних каскадів тракту, а динамічний діапазон окремих каскадів, зазвичай, малий. Для запобігання перевантаження першого змішувача  $Зм1$  і, як наслідок, спотворення спектра вхідного сигналу та можливого пошкодження його вхідних кіл вхідний сигнал з великим рівнем послаблюється за допомогою атенуатора Ат. При цьому рівень сигналу на вході першого змішувача повинен бути нижчим його точки компресії 1 дБ.

## Тракт ПЧ

Для частотного фільтрування сигналів, які надходять до вимірювального приладу дзеркальними каналами приймання, в сучасних аналізаторах спектра застосовується двократне або, навіть, трикратне перетворення вхідної частоти. В загальному випадку  $f_{ПЧ}$  визначається за формулою

$$f_{ПЧ} = |m f_{ГЕТ} \pm n f_{ВХ}|, \quad (9.17)$$

де  $f_{ГЕТ}$  - частота основної гармоніки першого гетеродина.

В разі використання лише основних (фундаментальних) гармонік вхідного та гетеродинного сигналів ( $n = m = 1$ ) вираз (9.17) спрощується і має вигляд

$$f_{ПЧ} = |f_{ГЕТ} \pm f_{ВХ}|,$$

звідки

$$f_{ВХ} = |f_{ГЕТ} \pm f_{ПЧ}|. \quad (9.19)$$

Але для певних значень  $f_{ПЧ}$  і  $f_{ГЕТ}$  завжди існують два значення  $f_{ВХ}$ ,

для яких виконується умова (9.18). Таким чином, крім частоти, що аналізується, завжди існує дзеркальна частота. Для ефективного усунення такої невизначеності використовуються досить великі значення  $f_{ПЧ}$  (наприклад, в аналізаторах спектра, які розроблені для діапазону частот від 9 кГц до 3 ГГц, значення  $f_{ПЧ}$  може становити близько 3500 МГц, при цьому частота першого гетеродина Геті повинна змінюватися в діапазоні від 3500 МГц до 6500 МГц), що значно спрощує фільтрацію сигналів на дзеркальних частотах за допомогою відповідних фільтрів [183]. За рахунок перестроювання частоти першого гетеродина Геті забезпечується перенесення спектра вхідного сигналу на частоту  $f_{ПЧ}$  у всьому діапазоні робочих частот аналізатора спектра. При цьому спектр вхідного сигналу „переміщується за частотою” перед фільтром ФПЧ1. Для підвищення точності задання частоти сигнал гетеродина синхронізується сигналом опорного генератора ОГ через систему ФАПЧ (на функціональній схемі не наведена), при цьому сигнал гетеродина змінюється не плавно, а дискретно з певним кроком, який, у загальному випадку, залежить від розрізнення за частотою. Для оброблення й аналізу сигналів у діапазонах частот понад 3 ГГц (до 26,5 ГГц і навіть до 40 ГГц) використовують вищі гармоніки генератора опорної частоти ОГ. Результуючий (перетворений) сигнал на частоті  $f_{ПЧ}$  перед подачею на вхід ФПЧ1 підсилюється попереднім підсилювачем ППЧ1.

У зв'язку зі значними труднощами реалізації вузькосмугових фільтрів та оброблення ВЧ сигналів проводиться поступове перетворення частоти на нижчі проміжні частоти - на  $f_{ПЧ2}$  і, навіть, на  $f_{ПЧ3}$ . За кожним таким перетворенням частота сигналу знижується приблизно на порядок. При цьому виділення корисного сигналу та ослаблення сигналів дзеркальних каналів забезпечується за рахунок використання відповідних фільтрів на виході змішувачів.

За теоремою Фур'є спектр синусоїдального сигналу на виході аналізатора спектра, побудованого за схемою супергетеродинного РПП, повинен мати вигляд однієї спектральної лінії. Фактично ж проходження сигналу через каскади підсилювачів і фільтрів ПЧ призводить до розширення (спотворення) спектра первинного (вхідного) сигналу, що ілюструється рис. 9.14 і зумовлено такими причинами.

У зв'язку з тим, що ширина смуги пропускання фільтрів ПЧ значно менша за

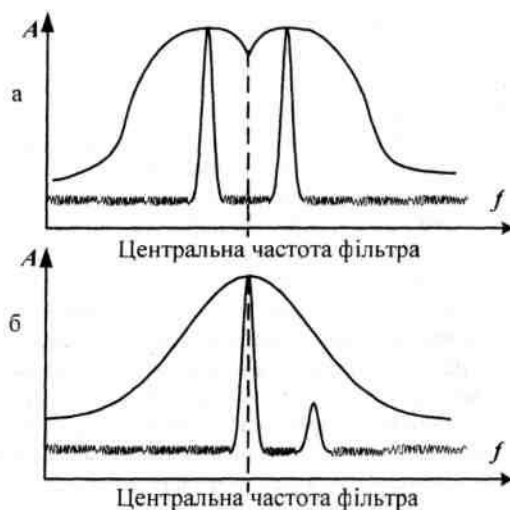
ширину смуги частот огляду, то для забезпечення її огляду частота гетеродина безперервно перестроюється. У процесі перестроювання перенесений на ПЧ вхідний сигнал „переміщується” у смугі частот фільтра ПЧ з постійною швидкістю та множиться на його АЧХ. Для спрощення на рис. 9.14 показано, що „переміщується” по відношенню до сигналу смуга частот фільтра, але обидва представлення еквівалентні. Як було зауважено раніше, розрізнення за частотою вимірювального пристрою визначається в основному смугою фільтра ПЧ. Тому для забезпечення високої вибірковості доцільно використовувати фільтри з прямокутною АЧХ, але у зв'язку з великою постійною часу перехідного процесу з метою запобігання спотворення спектра вхідного сигналу частота гетеродина повинна змінюватися повільно. Тому найоптимальнішим за часом перехідного процесу вважається застосування гаусівських фільтрів, які забезпечують обмежену крутизну спадання АЧХ. Для характеристики міри оптимізації ширини смуги пропускання таких фільтрів використовується параметр „еквівалентна шумова смуга”  $B_{ш}$  фільтра ПЧ, значення якої розраховується через передавальну функцію фільтра за напругою  $H_v(f)$  за формулою де  $H_{v,0}$  - значення передавальної функції за напругою в центрі смуги (для частоти

$f = f_0$ ). За загальною практикою для аналізаторів спектра смуга пропускання задається на рівні мінус 3 дБ відносно максимального значення.

Крутизна спадання АЧХ фільтрів характеризується коефіцієнтом форми (прямокутності)  $K\Phi_{60,3}$ , який розраховується за формулою (9.6).

Для смуг частот, ширина яких визначається за рівнем 6 дБ значення  $K\Phi_{60,6}$  розраховується відносно ширини смуги

Найкращі цифрові фільтри забезпечують  $K\Phi_{60,3} = 4,6$ . Застосування фільтрів з більшими значеннями  $K\Phi_{60,3}$  призводить до маскуванню слабких сигналів сильними, як показано на рис. 9.15. За одночасної наявності двох окремих вхідних сигналів однакового рівня в разі вузької смуги частот розрізнення вони спостерігаються обидва (рис. 9.15, а), у разі широкої смуги RBW сигнали майже не розрізняються. За умови застосування фільтра ПЧ із широкою смугою розрізнення під час одночасного надходження двох сигналів з різним рівнем сигнал з меншим рівнем може маскуватися сигналом великого рівня (рис. 9.15, б).



Для вимірювання корельованих сигналів (наприклад, радіолокаційних) інтерес представляє так звана „імпульсна смуга"  $B_{\text{имп}}$ , значення якої розраховується за формулою

$$B_{\text{имп}} = \frac{1}{H_{\Gamma,0}} \int_0^{+\infty} H_{\Gamma}(f) df. \quad (9.22)$$

Спектральні складники широкосмугових імпульсних сигналів завжди корельовані, завдяки цьому збільшення ширини смуги вимірювання призводить до збільшення рівня сигналу, що відображається. Для визначення реальної ширини смуги частот імпульсу необхідно порівняти рівень сигналу після реального фільтра з рівнем сигналу ідеального фільтра. Як правило, під ідеальним мається на увазі гаусівський фільтр, для якого справедливе таке співвідношення між значенням ширини смуги частот імпульсу і смугою пропускання фільтра на рівні мінус 3 дБ  $B_{3\text{дБ}}$ :

$$B_{\text{имп}} = 1,506 B_{3\text{дБ}}. \quad (9.23)$$

При вимірюваннях уважається, що ширина імпульсної смуги частот  $B_{\text{имп}}$  гаусівського (чи подібного йому) фільтра приблизно відповідає ширині смуги на рівні мінус 6 дБ відносно максимуму. Для аналізаторів спектра, зазвичай, вказується смуга пропускання на рівні мінус 3 дБ ( $B_{3\text{дБ}}$ ), тим часом як для вимірювання імпульсних сигналів (під час проведення оцінювання електромагнітної сумісності) вказується смуга частот за рівнем мінус 6 дБ ( $B_{6\text{дБ}}$ ). Співвідношення між цими значеннями ширини смуг частот наведені в табл. 9.6.

Таблиця 9.6

Параметр	Аналоговий фільтр		Цифровий фільтр
	4-ри каскадний	5-ти каскадний	Гаусівський
Співвідношення для значення ширини смуги частот $B_{3\text{дБ}}$			
$B_{6\text{дБ}}$	$1,480 \cdot B_{3\text{дБ}}$	$1,464 \cdot B_{3\text{дБ}}$	$1,415 \cdot B_{3\text{дБ}}$
$B_{\text{имп}}$	$1,806 \cdot B_{3\text{дБ}}$	$1,727 \cdot B_{3\text{дБ}}$	$1,506 \cdot B_{3\text{дБ}}$
Співвідношення для значення ширини смуги частот $B_{6\text{дБ}}$			
$B_{3\text{дБ}}$	$0,676 \cdot B_{6\text{дБ}}$	$0,683 \cdot B_{6\text{дБ}}$	$0,707 \cdot B_{6\text{дБ}}$
$B_{\text{имп}}$	$1,220 \cdot B_{6\text{дБ}}$	$1,179 \cdot B_{6\text{дБ}}$	$1,065 \cdot B_{6\text{дБ}}$

Реалізація процедури розрізнення за частотою за допомогою цифрових фільтрів не впливає на оцінку імпульсних сигналів. Ці фільтри, як і аналогові, придатні для застосування, більше того, мають перевагу перед ними завдяки високій селективності та стабільності параметрів з часом і за кліматичними чинниками.

Для використання повного динамічного діапазону логарифмічного підсилювача  $\ln/\log$  ППЧ та детектора обвідної ДО рівень сигналу відповідним чином узгоджується за допомогою попереднього підсилювача частоти.

Коефіцієнт підсилення задається, виходячи з умови використання всієї лінійної ділянки АХ.

### Тракт оброблення

В сучасних аналізаторах спектра перехід від аналогової форми представлення сигналу до цифрової здійснюється або після його детектування на відеочастоті, або на останній (нижній) ПЧ, яка в переважній більшості аналізаторів спектра дорівнює 20,4 МГц.

У першому випадку для забезпечення вимог теореми Котельникова-Шеннона про

вибірки до початку проведення процедури дискретизації сигналу смуга його частот повинна бути обмежена попередніми аналоговими фільтрами. Крім того, для забезпечення одночасного відображення (та оброблення) сигналів з різним (у тому числі, й великим) діапазоном рівнів ПЧ і збільшення динамічного діапазону вимірювального засобу може застосовуватися компресія сигналу за його рівнем шляхом використання підсилювача з логарифмічною АХ (логарифмічного підсилювача)  $\ln/\log$  ППЧ (рис. 9.12).

Далі підсилений сигнал подається до детектора обвідної ДО. Принцип детектування обвідної пояснюється на рис. 9.16. Після детектування аналогового сигналу інформація стосовно фази вхідного сигналу втрачається і на екрані дисплея відображається інформація лише щодо його амплітуди (останнє є основною відмінністю детектора обвідної від аналізатора ШПФ). Насправді динамічний діапазон аналізатора спектра визначається саме

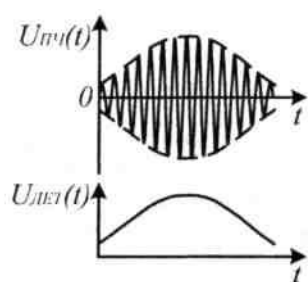


Рис. 9.16.

динамічним діапазоном ДО. Результируючий вихідний сигнал називається відеосигналом. За допомогою АЦП аналоговий відеосигнал перетворюється до цифрового виду та усереднюється в НЧ фільтрі першого порядку (відео-фільтрі) ВФ, який забезпечує згладжування шумів і сигналів перед їхнім відображенням на екрані дисплея.

Як і смуга розрізнення за частотою, смуга частот відеосигналу також обмежує максимально допустиму швидкість розгортки. Необхідний мінімальний час розгортки зворотно пропорційний ширині смуги частот відеофільтра. Для вимірювання синусоїдальних сигналів із великим відношенням сигнал/шум ширина смуги частот відеофільтра, зазвичай, задається рівною ширині смуги розрізнення за частотою. В разі низького відношення сигнал/шум зменшення ширини смуги частот відеофільтра забезпечує усереднення шумових імпульсів і покращення чіткості зображення на екрані дисплея. Мале значення ширини смуги частот відеофільтра доцільно також задавати для отримання стабільних результатів вимірювань рівня шумів. Але застосування операції усереднення недоцільне в разі проведення вимірювань спектрів імпульсних сигналів.

## ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ОБЛАДНАННЯ РАДІОМОНІТОРИНГУ

### Детектори

В сучасних аналізаторах спектра для індикації спектрів сигналів використовують рідиннокристалічні дисплеї, які мають дещо меншу, порівняно з електронно-променевими трубками, розрізнявальну здатність, яка визначається розмірами пікселя. При цьому за умови індикації широких діапазонів частот в одному пікселі може міститися інформація про досить широку смугу частот. Значення спектрального складника, що відображається на екрані дисплея, визначається вибраним методом вимірювання і залежить від типу застосованого детектора.

У більшості сучасних аналізаторів спектра аналогово-цифрове перетворення сигналу виконується до детектора, що дозволяє поряд із застосуванням класичних (для аналогових РПП) типів детекторів (середнього та середньоквадратичного рівнів) реалізувати багато інших типів детекторів у цифровому виконанні, зокрема, піковий, максимально піковий, мінімально піковий, автоматично

піковий, детектор вибірки, квазіпіковий тощо. Принцип роботи детекторів ілюструється рис. 9.19.

*Максимально піковий детектор (Max peak)* забезпечує вибір з усіх відліків сигналу, що приходяться на один піксель, одного з найвищим рівнем. В разі застосування цього детектора стохастичні сигнали додатково не згладжуються, тому на екрані дисплея відображається їхній максимальний рівень. Збільшення періоду розгортки призводить до збільшення кількості відліків, що приходяться на один піксель, та збільшення ймовірності появи сигналів із більшими значеннями рівнів. При малому значенні відношення смуги частот вимірювання до смуги частот розрізнення рівень відліку шумового сигналу, що відображається, дорівнює рівню, вимірюваному детектором вибірки.

*Мінімально піковий детектор (Min peak)* з усіх відліків, що надійшли в межах певного пікселя, обирає для індикації один із мінімальним значенням. При цьому рівень шумів досить низький, а зі збільшенням періоду розгортки цей рівень ще зменшується. В разі вимірювання рівнів гармонійних сигналів при малому відношення сигнал/шум значення вимірів занижені. При низькому значенні відношення ширини смуги сканування і ширини смуги розрізнення відлік шуму дорівнює відліку детектора вибірки.

*Автоматичний піковий детектор (Auto peak)* забезпечує одночасне визначення максимального та мінімального значень сигналу на певному інтервалі часу. На екрані дисплея вони відображаються у вигляді вертикальної лінії, що з'єднує точки максимального та мінімального значень сигналу на інтервалі вимірювання. Таким чином, у разі тривалого застосування цього детектора для неперервного сигналу на екрані дисплея відображається „доріжка“, що складається з низки таких вертикальних ліній (для кожного інтервалу часу). В разі збільшення періоду розгортки відстань між складниками „доріжки“ збільшується, а в разі низького відношення значення смуги частот сканування до смуги частот розрізнення перетворюється в стрічку зі змінною шириною.

**Детектор вибірки (Sample)** забезпечує вибір лише одного значення відліку обвідної (в цифровому виді) ПЧ сигналу, яке визначається у фіксований момент часу для кожної з вибірок. Тому, якщо діапазон частот, що відображається, набагато більший, ніж ширина смуги розрізнення за частотою (відношення значення діапазону сканування до ширини смуги розрізнення значно більше, ніж кількість пікселів на частотній осі), то спектр вихідного сигналу буде відображатися неадекватно. Значення рівня сигналу, виміряне із застосуванням детектора вибірки, варіює навколо середнього значення, яке (в разі гаусівських шумів) на 1,05 дБ нижче середньоквадратичного. На відміну від інших детекторів у даному випадку період розгортки не впливає на значення сигналу, що відображається.

**Середньоквадратичний детектор (RMS, Root Mean Square)** або детектор ефективного значення розраховує середньоквадратичне значення напруги сигналу  $U_{RMS}$  з урахуванням усіх його відліків на інтервалі частот, що відповідає одному пікселю:

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i^2}, \quad (9.24)$$

де  $U_i$ , - відліки обвідної сигналу, В;

$N$  - кількість відліків сигналу, що приходяться на один піксель.



Фактично визначення середньоквадратичного значення ґрунтується на обчисленні потужності сигналу на інтервалі частот, який відповідає одному пікселю. В разі застосування цього типу детектора згладжування за рахунок зменшення ширини смуги частот відеосигналу чи усереднення за декількома викликами заборонено, бо це призводить до спотворення вимірів. Для запобігання такому спотворенню смуга відеочастот повинна бути щонайменше в три рази більшою, ніж ширина смуги розрізнення.

**Детектор середнього значення (AV-детектор, Average)** обчислює лінійне середнє значення  $U_{AV}$  відліків сигналу, що приходяться на один піксель:

$$U_{AV} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i. \quad (9.25)$$

Середнє значення рівнів сигналу приблизно на 1,05 дБ нижче, ніж їхнє середньоквадратичне значення.

**Квазіпіковий детектор (Quasi peak)** являє собою звичайний піковий детектор із певною постійною часу заряду та розряду фільтра. Значення постійних часу встановлені у стандарті CISPR 16-1 [180]). Квазіпіковий детектор найчастіше застосовується для інструментальних вимірювань параметрів паразитних радіовипромінювань.

Потрібно враховувати, що в залежності від виду вхідного сигналу різні типи детекторів забезпечують різні результати вимірювання. За високого відношення сигнал/шум обвідна гармонійного сигналу, який надходить з постійним рівнем, і, відповідно, рівень відеосигналу постійні. Тому рівень сигналу, що відображається, не залежить від типу обраного детектора. Але, миттєва потужність шуму, випадкових або шумоподібних сигналів змінюється із часом, тому мінімальні та максимальні миттєві значення, а також середнє й середньоквадратичні значення рівнів цих сигналів теж відрізняються. Співвідношення між піковим значенням миттєвої потужності сигналу та її

$$P = 10 \log \left( \frac{P_s}{P_{CP}} \right), \quad (9.26)$$

де  $P_{CP}$  визначається за формулою

середнім значенням  $P_{CP}$  виражається через пік-фактор  $P$ :

$$P_{CP} = \frac{1}{R} \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} U^2(t) dt \right). \quad (9.27)$$

За наявності шумів значення пік-фактора може бути досить великим але, оскільки ймовірність появи дуже малого чи надто великого значень напруги досить мала, то на практиці для гаусівського шуму значення пік-фактора становить близько 12 дБ. Зазвичай значення пік-фактора для цифрових сигналів від нього відрізняється.

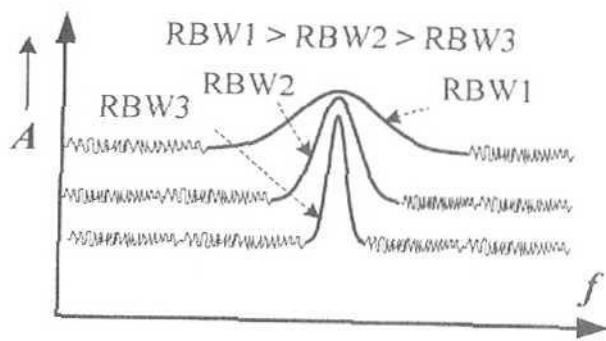


Рис. 9.18. Залежність рівня шумів від розрізнення за частотою

Рівень шуму, який відображається на екрані дисплея, залежить від ширини смуги пропускання останнього фільтра ПЧ. Рис. 9.18 ілюструє вплив різних значень смуги фільтра ПЧ на цей рівень.

Різниця рівнів шумів, **ЩО** відображаються на екрані дисплею,  $\Delta L_{PNB}$  для різних значень  $B_{ПЧ1}$  і  $B_{ПЧ2}$  Смуги ПЧ

$$\Delta L_{PNB} = 10 \log \frac{B_{ПЧ2}}{B_{ПЧ1}}, \quad (9.28)$$

може бути розрахована за формулою де  $B_{ПЧ1}$  /  $B_{ПЧ2}$  - ширина смуги пропускання фільтра за ПЧ на рівні мінус 3дБ.

В залежності від характеристики підсилювача (лінійної чи логарифмічної) використовуються відповідні шкали рівнів - лінійна чи логарифмічна (особливістю вимірювання середньоквадратичного та середнього значень є застосування саме лінійної шкали рівнів).

В разі застосування ШПФ перетворення аналогового сигналу в цифровий вид здійснюється за останньою ПЧ.

Для отримання вимірів, усереднених за кількома періодами сканування, в сучасних аналізаторах спектра застосовується режим Trace Average (усереднення кривих) або Trace Evaluation, який, у залежності від застосованої шкали рівнів, забезпечує усереднення лінійних або логарифмічних значень (на рис. 9.12 наведений блок ТЕ саме з таким режимом роботи). Якщо відео-фільтр відсутній або не застосовується, то рівні шумів, що відображаються на екрані дисплея, не співпадають для максимально пікового,

мінімально пікового та детектора вибірки, але в разі його застосування результати усереднення наближаються одні до одних.

Збільшення періоду розгортання призводить до згладжування графіка. В разі зменшення ширини смуги частот відеофільтра виміри, отримані із застосуванням максимально пікового, мінімально пікового, автоматично пікового детекторів і детектора вибірки, наближаються одні до одних. Виміряні рівні сигналів гаусівського шуму в разі використання логарифмічного підсилювача на 1,45 дБ менші, ніж для лінійного підсилювача, а з урахуванням наведеного вище співвідношення між середнім і середньоквадратичним значеннями ця розбіжність збільшується до 2,5 дБ. Але, ці співвідношення неможливо застосовувати для інших типів сигналів, зокрема, для цифрових.

Для вимірювання потужності в смузі частот каналу найдоцільніше використовувати детектори вибірки та середньоквадратичний. Пікові детектори (максимально піковий, мінімально піковий, автоматично піковий) не коректно застосовувати для вимірювання шумових і шумоподібних сигналів через труднощі встановлення відповідності між відеосигналом на виході детектора та потужністю вхідного сигналу. Якщо співвідношення між шириною смуги огляду та шириною смуги розрізнення за частотою перевищує 500, то застосування детектора вибірки для вимірювання рівня та потужності сигналу також недоцільно, бо може призвести до втрат дискретних компонентів сигналу через обмежену кількість пікселів екрана дисплея (орієнтовно близько 500), тому для отримання якомога об'єктивніших вимірів рівнів сигналів із цифровими видами модуляції потрібно застосовувати їхнє усереднення.

В разі застосування середньоквадратичного детектора чи детектора вибірки ширина смуги частот відеодетектора повинна бути більшою від ширини смуги розрізнення за частотою не менше, ніж у три рази.

Як було відмічено раніше, для збільшення точності установа частоти та результатів вимірювання в сучасних аналізаторах спектра частота гетеродинів синхронізується шляхом застосування високостабільного опорного генератора ОГ та системи ФАПЧ. Тому точність установа частоти аналізатора спектра відповідає точності опорного сигналу. В більшості сучасних аналізаторів спектра застосовується опорна частота 10 МГц. Зазвичай, опорні генератори виконуються у виді кварцових генераторів із температурною компенсацією або з термостатуванням. У разі використання термостата досягається значно більша температурна стабільність і значно менший температурний дрейф частоти. Відображення спектра сигналу на екрані дисплея Точніше кажучи, на екрані дисплея відображається не спектр самого сигналу, а зміна рівня відліку сигналу на виході фільтра ПЧ із часом. При цьому розгортання променя вподовж екрана (з часом) відповідає зміні частоти в межах заданого діапазону частот огляду від  $f_{min}$  до  $f_{max}$ .

Як було відмічено раніше, в сучасних аналізаторах спектра використовуються рідиннокристалічні дисплеї. Мінімальний час розгортання променя залежить від багатьох чинників, зокрема, від:

- ширини смуги розрізнення за частотою (RBW);
- ширини смуги частот відеодетектора (VBW);
- часу встановлення номінального значення частоти гетеродина;
- часу оброблення даних;
- швидкодії АЦП;

- максимальної швидкості зміни частоти в гетеродині, яка визначається можливостями фільтра із залізо-ітрієвого гранату.

В сучасних аналізаторах спектра час розгортання променя, що потрібний для огляду, наприклад, смуги частот 1 ГГц, становить кілька секунд (від 5 с до 6 с), і обмежується технічними параметрами фільтра із залізо-ітрієвого граната.

В разі, якщо аналізатор спектра настроєний на режим вимірювання на фіксованій частоті (такий режим називається ще „нульовим качанням" або „0 Span"), мінімальний час вимірювання залежить лише від тривалості процесу збирання та оброблення даних аналізатором спектра і може становити доли-одиниці сек.

Параметр „розрізнення за часом", який називають ще „мінімальним часом між вибірками", визначається мінімальним часом, потрібним для оброблення АЦП одного сигналу, і становить близько (100 - 200) пс.

В разі роботи з вимірювальним приладом у ручному режимі до одного з найважливіших параметрів відноситься частота оновлення екрана його дисплея. Вважається за достатнє значення частоти оновлення близько 20 вимірювань за секунду, що забезпечує зображення, вільне від мигання. Якщо ж робота приладу передбачається в складі автоматизованих комплексів, то для забезпечення високої частоти оновлення екрана дисплея його доцільно деактивувати (виключити). Керування роботою сучасних аналізаторів спектра проводиться за допомогою мікропроцесорів, у тому числі, дистанційно через зовнішні інтерфейси.

Аналіз спектра сигналу з використанням аналізаторів спектра ґрунтується на припущенні, що спектр сигналу залишається незмінним упродовж деякого інтервалу часу (щонайменше, часу аналізу, який може становити від декількох сотень до декількох тисяч періодів сканування). Це зумовлено тим, що сканування за частотою здійснюється послідовно (від  $f_{min}$  до  $f_{max}$ ), тому під час аналізу сигналу на частоті  $F_{max}$  спектральний складник на  $F_{min}$  може зазнати суттєвих змін.

Основні недоліки аналізаторів спектра, порівняно із РПП, такі:

- 1) відсутність попередньої селекції до першого змішувача;
- 2) більший коефіцієнт шуму через необхідність введення затухання для вирівнювання АЧХ першого змішувача;
- 3) відсутність автоматичного калібрування АЧХ у тракці;
- 4) менша точність вимірювання рівня вхідного сигналу;
- 5) менша крутизна схилів АЧХ фільтрів;

Відсутність попередньої селекції до першого змішувача значно утруднює, або взагалі унеможлиблює правильне вимірювання параметрів широкосмугових радіозавод через виникнення перевантаження першого змішувача.

В той же час, аналізатори спектра мають і переваги перед РПП, які сприяють їхньому широкому застосуванню під час проведення радіомоніторингу та радіоконтролю, зокрема, такі:

- 1) обов'язкова наявність дисплея для відображення сигналів;
- 2) більша ширина смуги частот сигналів, що можуть досліджуватися та відображатися (РПП здатні забезпечувати вимірювання лише в строго заданій смузі частот);
- 3) відсутність необхідності нормування тракту (рівнів сигналів і шумів) у сусідніх смугах частот („зшивання" сусідніх смуг частот), яке зумовлено використанням у РПП окремих фільтрів для кожної зі смуг частот;

- 4) нижчі вимоги до інтермодуляційних характеристик;
- 5) практично моментальне графічне відображення на екрані дисплея спектра сигналу, що досліджується.

### 9.9 Виробники обладнання радіомоніторингу

Нині технічні засоби та обладнання радіомоніторингу пропонують такі провідні виробники:

- 1) державна корпорація „Thaies" (Франція);
- 2) компанія „Rohde&Schwarz" (Німеччина);
- 3) корпорація TCI (США);
- 4) ЗАТ „ИРКОС" (Росія, м. Москва);
- 5) НВО „ИРГА" (Росія, м. Санкт-Петербург);
- 6) ЗАТ НВЦ „НЕЛК" (Росія, м. Москва);
- 7) компанія „Agilent Technologies" (США);
- 8) компанія „Winradio" (Австралія);
- 9) компанія „ADVANTEST" (США);
- 10) компанія „Anritsu" (Японія);
- 11) компанія AOR (Японія)
- 12) компанія ICOM (Японія);
- 13) Українсько-російсько-американське (УРА) ТОВ ХСВД-2 „Спецвуз-автоматика" (Україна, м. Харків);
- 14) ТОВ „Адалін" (Україна, м. Севастополь).

При цьому, якщо такі виробники, як „Rohde&Schwarz" (у кооперації з німецькою компанією „LSTelcom"), „Thaies", TCI, ЗАТ „ИРКОС", УРА ТОВ

ХСВД-2 „Спецвузавтоматика" пропонують готові системні рішення щодо побудови повнофункціональних систем управління РЧР, а саме: програмні комплекси частотного (частотно-територіального) планування та обліку частотних присвоєнь, програмно-апаратні комплекси (ПАК) радіомоніторингу, то інші, як правило, пропонують окремі засоби та обладнання для радіомоніторингу і радіоконтролю (РПП різного призначення, засоби аналізу спектра, пеленгатори, антени, а також відповідне додаткове обладнання та аксесуари до них).

### 9.10 Системи радіомоніторингу, стаціонарні та мобільні станції (комплекси) радіомоніторингу

Узагальнені відомості щодо функціональних можливостей, технічних параметрів і характеристик обладнання, яке пропонує корпорація „Thaies" (колишня компанія „Thomson"), наведені в табл. 9.7.

Структурна схема системи контролю спектра CDS 2G, яка є основою СРЧМ Франції та базується на застосуванні обладнання виробництва корпорації „Thaies", зображена на рис. 10.5.

Таблиця 9.7 - Функціональні можливості, технічні параметри й характеристики систем і комплексів радіомоніторингу виробництва корпорації „Thaies"

Найменування обладнання	Діапазон робочих частот	Технічні параметри й характеристики
Система радіомоніторингу CDS 2G	від 20 МГц до 1,35 ГГц (з розширенням до 2,7 ГГц)	Спрощена (базова) станція -1 пеленгатор Стандартна станція -1 РПП + 1 пеленгатор Багатоканальна станція — 1 пеленгатор + кілька РПП
Сімейство цифрових пеленгаторів TRS8000 (стаціонарний, мобільний, портативний)	від 0,3 МГц до 3 ГГц	Точність пеленгування - до 1 ° Швидкість сканування: - 25 МГц/с (у діапазоні ВЧ) - 150 МГц/с (у діапазоні УВЧ) Дистанційний контроль
Фіксований (стаціонарний) пеленгатор TRS8011	від 20 МГц до 2,7 ГГц	На базі приймачів: TRS8023 (у діапазоні частот від 20 МГц до 1350 МГц) TRS8024 (у діапазоні частот від 20 МГц до 2700 МГц)

Компанія "Rohde&Schwarz" нині є найвідомішим провідним світовим розробником і виробником засобів радіомоніторингу та виміральної техніки, які входять до національних систем радіомоніторингу Китаю, Португалії

Республіки Білорусь та України. Стаціонарні й мобільні засоби радіомоніторингу також широко використовуються як джерела інформації щодо стану електромагнітної обстановки в системах радіомоніторингу Німеччини, Болгарії, Румунії, Угорщини, Республіки Молдова та деяких країн Близького Сходу. Компанія "Rohde&Schwarz" тісно співпрацює з компанією "LSTelcom (Німеччина) та корпорацією „ТСІ".

Функціональні можливості, технічні параметри й характеристики стаціонарних (фіксованих), мобільних і транспортабельних станцій (комплексів) радіомоніторингу виробництва компанії "Rohde&Schwarz" наведені в табл. 9.8 (11) ЗАТ „ІРКОС" - провідний російський розробник і виробник технічних засобів, обладнання та ПЗ у сфері автоматизованого радіомоніторингу -пропонує функціонально закінчені системи та засоби радіомоніторингу, які представляють собою широкий спектр обладнання для радіомоніторингу випромінювань, в тому числі, й для ефірного радіоконтролю в досить широкій смузі частот. Переважна більшість цього обладнання забезпечує вирішення завдань радіоконтролю, а саме:

- виявлення радіовипромінювань у смузі частот від 25 МГц до 3 ГГц (у базовому комплектуванні) та в розширеній смузі частот від 9 кГц до 18 ГГц у повному комплектуванні;
- вимірювання параметрів радіовипромінювання, в тому числі напруженості електромагнітного поля, в смузі частот від 25 МГц до 3 ГГц (у базовому комплектуванні) та в розширеній смузі частот частот від 9 кГц до 18 ГГц у повному комплектуванні;

- пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ у смузі частот від 25 МГц до 3 ГГц (у базовому комплектуванні) та в розширеній смузі частот частот від 25 МГц до 18 ГГц у повному комплектуванні.

Основною перевагою всіх комплексів та засобів радіомоніторингу виробництва ЗАТ „ИРКОС” є те, що вони базуються на застосуванні власних високоякісних вимірювальних приймачів.

Типові технічні параметри та характеристики стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу ЗАТ „ИРКОС” наведені в табл. 9.9 [10, 178].

В табл. 9.10 наведені основні дані щодо функціональних можливостей і технічних параметрів систем радіомоніторингу, стаціонарних і мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу виробництва ЗАТ „ИРКОС” - [10, 178], серед яких найбільшого поширення в системі радіоконтролю Російської Федерації здобули:

- стаціонарна система радіомоніторингу АРК-ПОМ1;
- мобільна система радіомоніторингу АРК-ПОМ2;
- портативна система радіомоніторингу АРК-ПОМ3;
- комбінована система радіомоніторингу АРК-ПОМ

Таблиця 9.8 - Функціональні можливості, технічні параметри й характеристики систем радіомоніторингу виробництва компанії „Rohde&Schwarz”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Примітки	
1	2	3	4	
Система радіомоніторингу та управління ARGUS-IT	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіовипромінювання Ідентифікація передавачів Оцінювання зайнятості спектра Планування радіомоніторингу Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 10 кГц до 80 ГГц	На базі: - РПП ESMB, ESMC, EB200, ESVN40, ESIB - аналізаторів спектра FSE, FSP; - аналізаторів сигналів FSIQ; - аналізаторів модуляції FMA, FMB; - пеленгаторних РПП DDF01M, DDF05M, DDF06M, DDF190, PA1555	
Транспортабельні системи радіомоніторингу та пеленгування TMS100, TMS200	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіовипромінювання Оцінювання зайнятості спектра Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 20 МГц до 1,3 ГГц з розширенням до 10 кГц (для пеленгування – до 500 кГц) та до 3 ГГц	На базі РПП EB200	Під управлінням ПЗ „ARGUS” Дистанційне управління каналами PSTN, ISDN, GSM-900, DCS-1800, GPRS-900/1800 Зв'язок з TMS200 та TMS210 забезпечується за рахунок використання TMS-C
Транспортабельні системи радіомоніторингу та пеленгування TMS110, TMS210			На базі РПП ESMB	

**Таблиця 9.9 Типові технічні параметри та характеристики стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу ЗАТ „ІРКОС”**

Назва параметра, характеристики	Стаціонарна станція з АС на щоглі	Мобільна станція з АС	
		на даху автомобіля	на щоглі
<b>Панорамний спектральний аналіз</b>			
Робочий діапазон частот, МГц: - базова комплектація - з додатковим обладнанням	від 25 до 3000 від 0,009 до 18000		
Швидкість панорамного аналізу в робочому діапазоні частот, МГц/с: - для середньої продуктивності - для високої та надвисокої продуктивності	від 100 до 1000 понад 1000		
Дискретність відліків частоти, кГц: - для середньої продуктивності - для високої продуктивності	3 від 6 до 12		
Динамічний діапазон, дБ, не менше	75		
Чутливість, мкВ, не гірше	3		
<b>Пеленгування</b>			
Швидкість у діапазоні, МГц/с: - для низького завантаження радіодіапазону - для високого завантаження	від 50 до 100 понад 300		
Чутливість, мкВ/м, не гірше	від 2 до 25	від 3 до 30	від 3 до 25
Ширина спектра сигналу, що пеленгується, МГц	Довільна		
Інструментальна похибка (точність) пеленгування, град	від 0,5 до 2	від 2 до 5	від 1 до 3
<b>Технічний аналіз</b>			
Ширина смуги частот аналізу, кГц/ розрізнявальна здатність, Гц	2000 (5000)/15, 250/500, 120/240, 50/100, 9/20, 6/12		
<b>Багатоканальний радіоконтроль</b>			
Кількість каналів, що контролюються: - для низького завантаження радіодіапазону - для високого завантаження	від 2 до 4 від 6 до 8		



Таблиця 9.10 - Функціональні можливості і технічні параметри систем радіомоніторингу, стаціонарних мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу виробництва ЗАТ „ИРКОС”

Назва та умовне позначення	Призначення	Діапазон частот	Технічні можливості	Примітки
1	2	3	4	5
Багатостанційна система радіомоніторингу та визначення місцезнаходження РЕЗ АРК-ПОМ1	Радіомоніторинг Панорамний аналіз Пеленгування Визначення місцезнаходження Контроль радіоканалів	від 25 МГц до 3 ГГц від 9 кГц до 3 ГГц (з розширенням)	Точність визначення відстані – 1,5 % від відстані до ДРВ	1 центральний пост і 1-2 периферійні пости
Багатостанційна система радіомоніторингу та визначення місцезнаходження РЕЗ АРК-ПОМ2	Радіомоніторинг Пеленгування Визначення місцезнаходження Контроль радіоканалів	від 25 МГц до 3 ГГц	Точність визначення відстані – 2 % від відстані до ДРВ Чутливість пеленгування - (1 - 25) мкВ/м Швидкість пеленгування - 300 МГц/с	1 центральний пост і 1-2 периферійні пости на базі периферійних станцій „АРГУМЕНТ”
Стаціонарна станція радіомоніторингу та пеленгування АРК-ССТ (АРЧА) у складі 4-х постів	Радіомоніторинг Панорамний аналіз Пеленгування Вимірювання параметрів Технічний аналіз радіосигналів	від 25 МГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 25 МГц до 8 ГГц (з АРТИКУЛ-С) від 9 кГц до 18 ГГц (з розширенням); пеленгування - до 3 ГГц	Чутливість пеленгування - (1 - 25) мкВ/м Швидкість пеленгування - 300 МГц/с Точність пеленгування - від 1° до 3°	Може входити до складу АРК-ПОМ1 Відстань винесення антенної систем до 100 м
Стаціонарний пеленгатор АРК-СП (АРТИКУЛ-С)	Радіомоніторинг Пеленгування Вимірювання параметрів Технічний аналіз радіосигналів	від 25 МГц до 3 ГГц	Швидкість в робочому діапазоні - 3 ГГц/с Швидкість пеленгування - 300 МГц/с Чутливість пеленгування - (1 - 25) мкВ/м	

Система АРК-ПОМ1 (рис. 9.17) являє собою класичний зразок регіональної підсистеми радіомоніторингу, що призначена для роботи у великих містах та промислових центрах і складається зі:

- стаціонарної центральної станції АРК-ССТ („Арча”);
- стаціонарних периферійних станцій АРК-ССТ („Арча”);
- мобільних периферійних станцій АРК-МС1 („Аргумент”);
- апаратури ручного пеленгування АКП-РПЗ, АРК-РП4;

- каналів зв'язку та передавання даних. Для створення заданої зони радіодосягнення центральна та периферійні

стаціонарні станції розгортаються, переважно, на дахах висотних будівель, баштах, вежах або домінуючих висотах.

Основу мобільної системи радіомоніторингу АРК-ПОМ2 складають мобільні центральна та периферійні станції АРК-МС) („Аргумент”).

Портативна система -радіомоніторингу АРК-ПОМ3 призначена для автоматизованого визначення місцезнаходження передавачів і проведення радіомоніторингу та складається з постів, які можуть швидко розгортатися. Радіообладнання постів відноситься до категорії портативних багатofункціональних засобів, розрахованих для ручного транспортування.

Комбінована система радіомоніторингу АРК-ПОМ (рис. 9.20) - це об'єднання елементів усіх трьох розглянутих систем.

В табл. 9.11 наведені функціональні можливості та технічні параметри комплексів радіомоніторингу виробництва ЗАТ НВЦ „НЕЛК”, а в табл. 9.12-функціональні можливості, та технічні параметри обладнання виробництва НВО „ИРГА”.

В табл. 9.13 наведені функціональні та технічні можливості систем радіомоніторингу, стаціонарних і мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу виробництва провідного вітчизняного розробника та виробника засобів і обладнання радіомоніторингу УРА ТОВ ХСВД-2 „Спецвузавтоматика”.

Типовим і найпоширенішим в Україні представником мобільного комплексу, призначеного для проведення радіомоніторингу, є мобільна станція радіомоніторингу РМ-1300М-1М, структурна схема якої наведена на рис. 9.21 [2].

У процесі виявлення ДРВ та технічного аналізу його радіовипромінювання радіосигнал від відповідної АС виявлення поступає на РПП, далі вихідний, аналоговий сигнал із ПЧ 10,7 МГц і 455 кГц перетворюється АЦП сигнального процесора АСВМ-12/40 у цифрову форму та обробляється ПЕОМ. Крім цього, АЦП сигнального процесора АСВМ-12/40 при пеленгуванні використовується для аналого-цифрового перетворення сигналу ПЧ приймача 10,7 МГц у смугах пеленгування 300, 500, 1000, 3000 та 5000 МГц і ПЧ 455 кГц у смугах пеленгування 30, 110 та 220 кГц.

Під час пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ радіосигнал від відповідної АС пеленгування поступає на РПП, далі вихідний сигнал частотного детектора РПП перетворюється АЦП сигнального процесора Е-330 у цифрову форму й обробляється ПЕОМ. Крім цього,

сигнальний процесор Е-330 використовується для управління електронним комутатором АФС пеленгування (на рис. 9.21 не показаний).

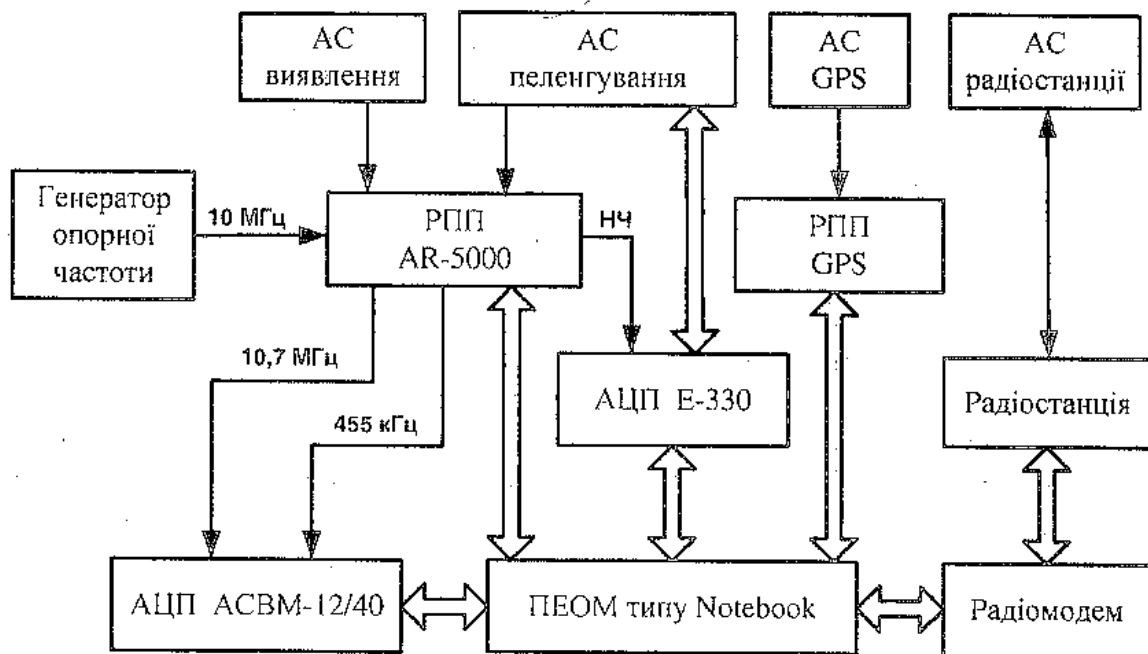


Рис. 9.21. Структурна схема мобільної станції радіомоніторингу РМ-1300М-1М

Станція забезпечує виконання таких функцій:

- контроль завантаження спектра та визначення ступеня використання частот;
- розпізнавання радіосигналів та ідентифікацію ДРВ;
- пошук та ідентифікацію джерел радіозавад (у ручному режимі);
- пеленгування ДРВ;
- відтворення на цифровій карті місцевості місцезнаходження ДРВ і збереження в архіві значень їхніх географічних координат;
  - виявлення ДРВ у смузі частот від 0,1 МГц до 2600 МГц;
  - контроль та вимірювання параметрів радіовипромінювання у смузі частот від 20 МГц до 2600 МГц, та оцінювання параметрів сигналів у смузі частот від 0,1 МГц до 20 МГц;

- вимірювання потужності радіовипромінювань (до 1000 Вт) у ВЧ трактах передавачів у смузі частот від 45 МГц до 600 МГц;
- слуховий контроль радіоканалів;
- запис інформації на жорсткий диск ПЕОМ, ведення архіву даних виявлених частот, повідомлень, спектрів;
- статистичне оброблення значень параметрів сигналів;
- можливість спільної роботи з АРМ збирання й оброблення даних радіоконтролю РС-157 та імпорту даних із його облікової бази даних;

Кінець таблиці 9.11

1	2	3	4
<p>Автоматизований стаціонарний багатоканальний комплекс радіоконтролю та реєстрації сигналів діапазону КХ „L-Аналіз”</p>	<p>Пошук і виявлення радіосигналів Технічний аналіз радіосигналів в автономному режимі</p>	<p>від 9 кГц до 30 МГц</p>	<p>2, 4 або 8 РПП</p>
<p>Мобільний комплекс радіоконтролю та реєстра- ції сигналів діапазону УКХ „Фрегат-М”</p>	<p>Пошук і виявлення радіосигналів Технічний аналіз радіосигналів в автономному режимі</p>	<p>від 10 кГц до 3 ГГц</p>	<p>На базі РПП ESMB („Rohde&amp;Schwarz”)</p>
<p>Автоматизований стаціонарний комплекс радіоконтролю діапазону КХ „Патруль-КВ”</p>	<p>Пошук і виявлення радіосигналів Технічний аналіз сигналів діапазону КХ</p>	<p>від 9 кГц до 30 МГц</p>	<p>Функціонування в автоматизованому та інтерактивному режимах</p>
<p>Багатоканальний стаціонарний комплекс радіоконтролю „Патруль-УКВ”</p>	<p>Пошук і виявлення радіосигналів Технічний аналіз сигналів діапазону УКХ</p>	<p>від 30 МГц до 3 ГГц</p>	<p>Функціонування в автоматизованому та інтерактивному режимах Вирішення завдань комплексного технічного контролю на стаціонарних приймальних центрах радіоконтролю</p>
<p>Універсальний мобільний комплекс радіоконтролю „Патруль-УКВ”</p>	<p>Пошук, виявлення і технічний аналіз сигналу, накопичення даних про електромагнітну обстановку Оцінювання ЕМС РЕЗ та завантаження частотних діапазонів Виявлення побічних випромінювань Технічний аналіз сигналів</p>	<p>від 30 МГц до 3 ГГц</p>	<p>Вирішення завдань комплексного технічного контролю в польових умовах</p>

- локальний та дистанційний (за радіоканалом) режими управління

Таблиця 9.12 - Функціональні можливості та технічні параметри обладнання виробництва НВО „ИРГА”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Примітки
Стационарний пост радіоконтролю „ИРГА” (базовий к-т - 2 РПП + 1 блок управління БУ-2)	Виявлення радіовипромінювань у смузі частот або за списком частот Вимірювання параметрів радіовипромінювання Ідентифікація передавачів Можливість синхронізації роботи з іншими постами	від 100 кГц до 2 ГГц	На базі РПП ІС-R8500
Мобільний пост радіоконтролю „ИРГА” (базовий к-т - 2 РПП + 1 блок управління БУ-2)		від 100 кГц до 2 ГГц	На базі РПП ІС-R9000
Скорочений комплект поста радіоконтролю „ИРГА” (1 РПП)		від 25 кГц до 2 ГГц	На базі РПП ІС-R7100
Станція радіоконтролю „ИРГА-М”	Виявлення радіовипромінювань у смузі частот або за списком частот Вимірювання параметрів радіовипромінювання Ідентифікація передавачів Визначення зон приймання Оцінювання ЕМС Оцінювання зайнятості	від 10 кГц до 65 МГц	На базі РПП ІС-R75
		від 100 кГц до 2,3 ГГц	На базі РПП АR3000А
Радіопеленгатор РПс30/1000д	Пеленгування ДРВ у складі стаціонарних комплексів радіомоніторингу „ИРГА”	від 5 кГц до 2,63ГГц	На базі РПП АR5000
Радіопеленгатор РП 26/1000		від 1 МГц до 32 МГц	На базі РПП Р-399А („Капан”)
		від 100 кГц до 2 ГГц з розширеним смуги частот виявлення до (30 – 3600) МГц; пеленгування – від 10 МГц до 1 ГГц	Склад: - вимірювальний пристрій ИУ2 (на базі 2-х РПП ІС-R8500) - ПЕОМ „Notebook” - пеленгатор РП 26/1000 - антенно-фідерні пристрої, GPS - програмне забезпечення „Radio Base”
		від 30 МГц до 1 ГГц	Склад: - РПП ІС-R8500 - ПЕОМ „Notebook” - антенно-щогольовий пристрій Чутливість - (15 - 30) мкВ/м Точність пеленгування - 2°
	Пеленгування ДРВ	від 10 МГц до 1 ГГц	

Таблиця 9.13 - Функціональні та технічні можливості систем радіомоніторингу, стаціонарних і мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу виробництва УРА ТОВ ХСВД-2 „Спецвузавтоматика”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Примітки
<p>1</p> <p>Регіональна підсистема радіомоніторингу АСРМ-1010 у складі:                      - АРМ управління РС-157Р                      - АРМ обліку частотоприсвоєнь і результатів радіомоніторингу РС-135Р                      - 1 багатофункціональний стаціонарний пост радіомоніторингу РМ-2500Р                      - від 1 до 3 стаціонарних автоматизованих вимірювальних комплексів АИК-С                      - декілька віддалених комплексів АИК-СП                      - декілька МКРМ РМ-1300М-1</p>	<p>2</p> <p>Радіомоніторинг                      Виявлення радіовипромінювань                      Вимірювання параметрів радіосигналів                      Пеленгування ДРВ                      Визначення місцезнаходження ДРВ                      Технічний аналіз радіосигналів                      Збереження даних</p>	<p>3</p> <p>від 1 МГц до 2,6 ГГц                      від 20 МГц до 2,6 ГГц                      від 30 МГц до 1,0 ГГц                      від 30 МГц до 1,0 ГГц</p>	<p>4</p> <p>Точність пеленгування - 2°                      Точність визначення місцезнаходження - 300 м (для бази пеленгування (4 - 6) км і відстані (4 - 6) км)</p>
<p>Багатофункціональний стаціонарний пост радіомоніторингу РМ-2500Р</p>	<p>Радіомоніторинг                      Виявлення радіовипромінювань                      Вимірювання параметрів радіосигналів                      Пеленгування ДРВ</p>	<p>від 1 МГц до 2,6 ГГц                      від 20 МГц до 2,6 ГГц                      від 30 МГц до 1,0 ГГц</p>	<p>Можливість роботи в автономному та дистанційному режимах</p>



Кінець таблиці 9.13

1	2	3	4
Стаціонарний комплекс виявлення та технічного аналізу РМ-2500Р-01	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіосигналів	від 1 МГц до 2,6 ГГц від 20 МГц до 2,6 ГГц	Можливість роботи в автономному та дистанційному режимах
Стаціонарний автоматизований вимірювальний комплекс АИК-СП	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіосигналів	від 1 МГц до 2,6 ГГц від 20 МГц до 2,6 ГГц	Робота в дистанційному режимі
Мобільний комплекс радіомоніторингу РМ-1300М-1, РМ-1300М-1М	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіосигналів Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 100 кГц до 2,6 ГГц від 25 МГц до 2,6 ГГц від 25 МГц до 1 ГГц від 100 кГц до 2,6 ГГц	Робота в автономному режимі
Мобільний комплекс радіомоніторингу РМ-1300М-1РЗ	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіосигналів Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 100 кГц до 3,0 ГГц від 100 кГц до 3,0 ГГц від 25 МГц до 3 ГГц	Автономний та дистанційний режими роботи
Мобільний комплекс радіомоніторингу РМ-1300М1-РЗ/5	Виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювань базових станцій мережі стільникового зв'язку	від 100 кГц до 2,6 ГГц (без пеленгування)	Робота в автономному режимі
Стаціонарний автоматизований вимірювальний комплекс АИК-СП	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіосигналів	від 1 МГц до 2,6 ГГц від 20 МГц до 2,6 ГГц	Робота в дистанційному режимі

У станції РМ-1300М-1М застосовується квазідоплерівський метод пеленгування та забезпечується визначення місцезнаходження ДРВ при пеленгуванні у смузі частот від 25 МГц до 1000 МГц або в смузі частот від 0,1 МГц до 2600 МГц (у разі роботи за напруженістю електромагнітного поля).

Станція має такі основні параметри пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ:

- час однократного пеленгування не більше 1 с;
- середньоквадратична інструментальна похибка пеленгування не більше 5°;
- середньоквадратична похибка визначення місцезнаходження ДРВ, які випромінюють АМ, ЧМ, ФМ сигнали з вертикальною поляризацією при ширині смуги частот радіовипромінювання не більше 220 кГц та розташовані на відстані до 3000 м, не більше 300 м.

На рис. 9.22 зображена типова архітектура регіональної підсистеми радіомоніторингу (РПРМ) АСРМ-1010, яка є основою АСРМ УДЦР.

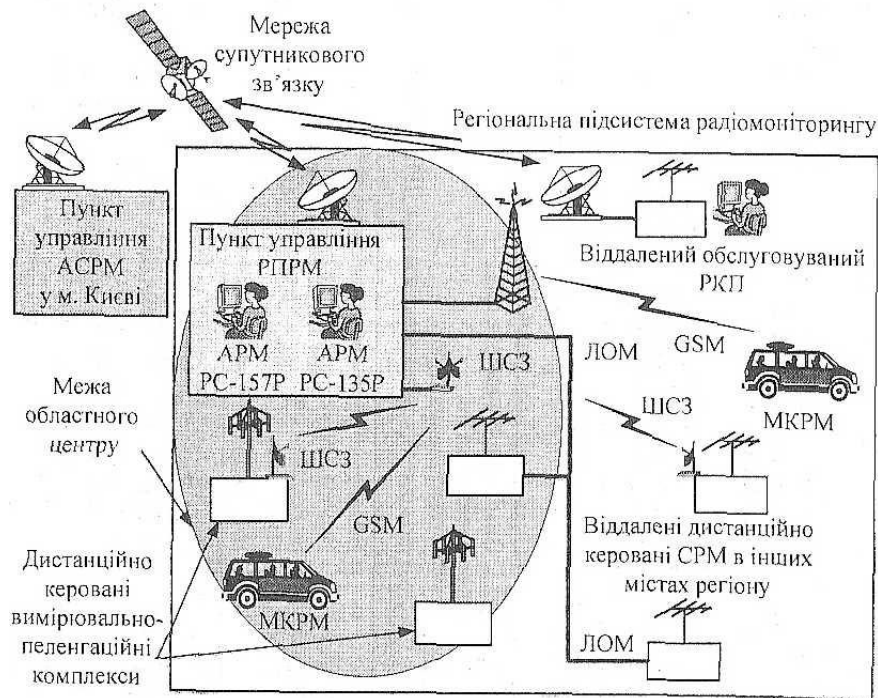


Рис. 9.22. Архітектура РПРМ АСРМ-1010

Організаційно до складу РПРМ АСРМ-1010 входять:

- пункт управління РПРМ;
- мережа стаціонарних РКП в обласному центрі;
- віддалені стаціонарні РКП в окремих містах;
- мобільні комплекси радіомоніторингу (МКРМ);
- канали зв'язку.

Пункт управління РПРМ призначений для керування стаціонарними та МКРМ, координації їхніх робіт із радіомоніторингу й забезпечує:

- формування завдань для стаціонарних станцій радіомоніторингу (СРМ) і МКРМ, отримання від них відповідної інформації за результатами радіомоніторингу;

- поточний моніторинг і контроль роботи СРМ і МКРМ, визначення місцезнаходження МКРМ;

- оброблення (в тому числі й спільної) інформації за результатами радіомоніторингу та збереження її в БД радіообстановки;

- оновлення та супроводження БД обліку присвоєнь частоти та РЕЗ РПРМ.

До складу пункту управління РПРМ входять:

- АРМ управління РПРМ РС-157Р;

- АРМ обліку частотних присвоєнь і результатів радіомоніторингу РС-135Р.

Мережа стаціонарних РКП у обласному центрі забезпечує радіомоніторинг спектра (виявлення, вимірювання параметрів і визначення характеристик радіовипромінювання, пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ) у межах населеного пункту в діапазоні частот від 20 МГц до 3 ГГц.

Крім того, до складу РПРМ можуть входити стаціонарні РКП, оснащені неавтоматизованими комплексами (станціями), які не інтегровані до складу автоматизованої системи радіомоніторингу (РМ-І70, РМ-172, РМ-172М).

Мобільні комплекси (станції) радіомоніторингу забезпечують вирішення завдань радіомоніторингу поза межами зон радіодосягнення стаціонарних ПРМ, а також з метою уточнення результатів радіомоніторингу в межах міст.

### 9.11 Портативні та носим засоби радіомоніторингу

Функціональні можливості та технічні параметри портативних і носимих засобів радіоконтролю виробництва ЗАТ „ИРКОС”, ЗАТ НВЦ „НЕЛК” і НВО „ИРГА” наведені в таблиці 9.14.

### 9.12 Обладнання радіомоніторингу

До зазначеної категорії відноситься безліч пристроїв, зокрема, РПП, пеленгатори, конвертори, змішувачі, антенно-фідерні пристрої тощо. Але нижче будуть розглянуті лише РПП і радіопеленгатори. Узагальнені відомості про функціональні можливості та технічні характеристики РПП і радіопеленгаторів виробництва компанії "Rohde&Schwarz" наведені в табл. 9.15, а в табл. 9.16 наведені відомості про функціональні можливості та технічні характеристики обладнання виробництва ЗАТ „ИРКОС”.



Таблиця 9.14 - Функціональні можливості та технічні параметри портативних і носимих засобів радіомоніторингу виробництва ЗАТ „ИРКОС”, ЗАТ НВЦ „НЕЛК” і НВО „ИРГА”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Технічні характеристики	Примітки
1	2	3	4	5
Засоби радіомоніторингу виробництва ЗАТ „ИРКОС”				
Носимий комплекс радіомоніторингу та пеленгування АРК-НКЗ	Радіомоніторинг Вимірювання параметрів радіосигналів і напруженості електромагнітного поля Вимірювання завантаження каналів	від 25 МГц - до 3 ГГц (базовий комплект) від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість - 1,5мкВ Швидкість сканування - 20 МГц/с (8 МГц/с) Чутливість контролю радіоканалів - 1 мкВ	На базі РПП „Аргамак-К” Застосовується амплітудний метод пеленгування Точність пеленгування - від 7° до 15° (явне пеленгування); від 10° до 20° (скритне пеленгування)
	Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 0,3 МГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 0,3 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість пеленгування - (20 - 50) мкВ/м (явне пеленгування); (50 - 200) мкВ/м (скритне пеленгування)	
Ручний пеленгатор АРК-РПЗ	Радіомоніторинг Вимірювання параметрів радіосигналів і напруженості електромагнітного поля Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 0,3 МГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 0,3 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість сканування - 1,5мкВ Швидкість сканування - 20 МГц/с (8 МГц/с) Чутливість пеленгування - (20 - 50) мкВ/м (явне пеленгування); (50 - 200) мкВ/м (скритне пеленгування) Чутливість контролю радіоканалів - 1 мкВ	Точність пеленгування - від 10° до 15°
	Радіомоніторинг Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 25 МГц до 2,04 ГГц	Чутливість панорамного аналізу - (1 - 3) мкВ Швидкість у робочому діапазоні - до 16 МГц/с	

Продовження таблиці 9.14

1	2	3	4	5
Ручний пеленгатор АРК-РП2	Радіомоніторинг Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 25 МГц до 3 ГГц	Чутливість панорамного аналізу - (1 - 3) мкВ Швидкість у робочому діапазоні – до 16 МГц/с	Точність пеленгування – від 10° до 15°
Ручний пеленгатор АРК-РП4 („Авгур”)	Автоматизований радіомоніторинг Виявлення випромінювань Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 2,3 ГГц до 3 ГГц	Швидкість сканування - 4 МГц/с (8 МГц/с) Чутливість пеленгування - 1 мкВ	На базі РПП „Аргамак” Пеленгування амплітудним методом Bluetooth, Wi-Fi, інших ширококомунікаційних сигналів
Багатоканальний індикатор НВЧ випромінювань АРК-ДВП	Виявлення НВЧ радіовипромінювань Локалізація ДРВ	від 6 ГГц до 12 ГГц (базовий комплект)	Чутливість – не гірше 90 дБм	Антенна – фазована антенна решітка
Носимий вимірювальний комплекс радіомоніторингу та пеленгування АРК-НКЗИ	Панорамний спектральний аналіз Вимірювання параметрів сигналів і напруженості поля Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект) від 25 МГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 0,3 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість панорамного аналізу - 1,5 мкВ Чутливість пеленгування – (20 - 50) мкВ/м (явне пеленгування); (50 - 200) мкВ/м (скритне пеленгування)	На базі РПП „Аргамак-И”
Багатоканальний портативний комплекс радіомоніторингу АРК-ДІТИ	Панорамний спектральний аналіз Вимірювання параметрів сигналів і напруженості поля Контроль радіосигналів	від 20 МГц до 2,02 ГГц (УКХ входи) від 2,02 ГГц до 18 ГГц (з конвертором)	Чутливість – не гірше 1 мкВ (в основному діапазоні частот); 3 мкВ (у додаткових діапазонах частот)	Можливе застосування в мобільному варіанті



Кінець таблиці 9.14

1	2	3	4	5
Портативний автоматичний пеленгатор АРК-П7 („Артикул-П“)	Виявлення випромінювань Вимірювання параметрів сигналів і напруженості електромагнітного поля Технічний аналіз радіосигналів Пеленгування ДРВ Визначення місцезнаходження ДРВ	від 25 МГц до 1,3 ГГц (з розширенням до 3 ГГц)	Чутливість – (1 - 25) мкВ/м Швидкість у робочому діапазоні – 1,2 ГГц/с Чутливість пеленгування – (2 - 30) мкВ/м (АС під радіопрозорим ковпаком) (1 - 25) мкВ/м (на щоглі)	Точність пеленгування – від 1° до 5° (АС під радіопрозорим ковпаком) Відстань винесення антенної системи – до 100 м
Засоби радіомоніторингу виробництва ЗАТ НВЦ „НЕЛК“				
Носимий універсальний комплекс радіоконтролю „ФРЕГАТ“	Оцінювання ЕМС Оцінювання зайнятості радіоканалів Пеленгування ДРВ Технічний аналіз радіосигналів	від 0,1 МГц до 3 ГГц (виявлення і технічний аналіз) від 100 кГц до 1 ГГц (пеленгування)	Чутливість (у смузі частот 15 кГц) - 0,6 мкВ (20 МГц - 1 ГГц) мінус 107 дБм (1 ГГц - 3 ГГц) Похибка вимірювання: - напруженості електромагнітного поля - до 6 дБ - рівня – 2 дБ	На базі аналізаторів спектра E4407B, E4405B (Agilent Technologies) та FSU (Rohde&Schwarz)
Засоби радіомоніторингу виробництва НВО „ИРГА“				
Носимий вимірювальний комплекс „ИРГА-Н“	Спектральний аналіз і вимірювання параметрів випромінювання Ідентифікація радіопередавачів Контроль „за трактом“ і „за полем“	від 30 МГц до 2 ГГц	Склад: - пристрій радіоконтролю вимірювальний ИУ2/Н - ПЕОМ - антена МА-500, антенний комутатор АК-3Р	
Носимі пеленгатори НП-3, НП-4, НП-5	Оперативне визначення місцезнаходження ДРВ	від 25 МГц до 3 ГГц	Чутливість – не гірше: 1,0 мкВ (в основному діапазоні частот) 3 мкВ (у додаткових діапазонах частот)	Амплітудний пеленгатор на базі РПП IC-R10 або IC-R20

Таблиця 9.15 - Функціональні можливості та технічні характеристики вимірювальних РПП і радіопеленгаторів виробництва компанії „Rohde&Schwarz”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Технічні параметри	Примітки
1	2	3	4	5
Моніторинговий радіоприймач ESMB	<p>Виявлення сигналів шляхом сканування діапазону частот або за списком частот</p> <p>Вимірювання параметрів радіосигналів</p> <p>Вимірювання зайнятості смуг частот</p> <p>Вимірювання напруженості поля Автономний і дистанційний режими роботи</p> <p>Демодуляція AF, FM, PM, USB, LSB, CW, ISB, PULSE, IQ</p>	<p>від 9 кГц до 3 ГГц</p>	<p>Чутливість (сумарний коефіцієнт шуму) – 14 дБ (типова – 11,5 дБ)</p> <p>Вихід ПЧ - 10,7 ГГц</p> <p>Стабільність частоти – <math>1 \times 10^{-6}</math></p> <p>Ослаблення радіозавади - не менше 90 дБ</p> <p>Ослаблення дзеркального каналу – не менше 80 дБ</p>	<p>Селекція:</p> <p>- у діапазоні від 20 МГц до 1,5 ГГц за допомогою попередньої слідувчої селекції;</p> <p>- у діапазоні від 1,5 ГГц до 3 ГГц за допомогою фільтрів верхніх і нижніх частот</p>
Портативний радіоприймач EB100	<p>Виявлення радіосигналів шляхом сканування діапазону частот і моніторинг сигналів за списком частот</p> <p>Вимірювання параметрів радіосигналів</p> <p>Автономний і дистанційний режими роботи</p> <p>Демодуляція AF, FM</p>	<p>від 10 кГц до 1 ГГц</p>	<p>Чутливість (сумарний коефіцієнт шуму) – 15 дБ</p> <p>Вихід ПЧ - 10,7 ГГц</p> <p>Стабільність частоти - <math>1 \times 10^{-6}</math></p> <p>Динамічний діапазон - 90 дБ (на частоті 0,1 ГГц)</p> <p>100 дБ (на частоті 1 ГГц)</p> <p>Ослаблення дзеркального каналу - не менше 80 дБ</p>	<p>Швидкість сканування – 10 частот/с</p> <p>Селекція за допомогою фільтрів</p>
Тестові радіоприймачі ESP13, ESP17	<p>Вимірювання параметрів радіосигналів</p>	<p>від 9 кГц до 3 ГГц</p> <p>від 9 кГц до 7 ГГц</p>	<p>Точність вимірювання рівня – 1,5 дБ</p> <p>Середній рівень шумів – мінус 155 дБм</p>	<p>Використовуються детектори PK, QR, AV, RMS</p>

Продовження таблиці 9.15

1	2	3	4	5
<p>Портативний радіоприймач EB200</p>	<p>Виявлення радіосигналів шляхом сканування діапазону частот і моніторинг сигналів за списком частот Вимірювання параметрів радіосигналів Автономний і дистанційний режими роботи Демодуляція AF, FM, USB, LSB, CW</p>	<p>від 10 кГц до 3 ГГц</p>	<p>Чутливість (сумарний коефіцієнт шуму) – (14 - 15) дБ (типова – 12 дБ) Вихід ПЧ - 10,7 ГГц Стабільність частоти – <math>1,5 \times 10^{-6}</math></p>	<p>Селекція в діапазоні частот від 20 МГц до 1,6 ГГц за допомогою попередньої селекції, в діапазоні від 1,6 ГГц до 3 ГГц – за допомогою фільтрів верхніх та нижніх частот</p>
<p>Портативний радіоприймач ESMC</p>	<p>Виявлення сигналів шляхом сканування діапазону частот або за списком Вимірювання параметрів радіосигналів Вимірювання зайнятості смуг частот Вимірювання параметрів радіопокриття Автономний і дистанційний режими роботи</p>	<p>від 20 МГц до 1,3 ГГц (базовий комплект); розширення до діапазону від 0,5 МГц до 3 ГГц</p>	<p>Вихід ПЧ – 21,4 МГц Чутливість (сумарний коефіцієнт шуму) – 13,5 дБ (до частоти 650 МГц) 14,5 дБ (на частотах до 1,3 ГГц) Стабільність частоти – <math>5 \times 10^{-6}</math> Ослаблення дзеркального каналу – не менше 90 дБ</p>	<p>Селекція за допомогою фільтрів</p>
<p>Тестовий радіоприймач FSET22</p>	<p>Вимірювання параметрів радіосигналів</p>	<p>від 10 Гц до 22 ГГц</p>	<p>Середній рівень шумів – мінус 142 дБм (на частоті 1 МГц) Точність вимірювання рівня – 1 дБ (на частотах до 1 ГГц); 2 дБ (у смузі частот від 1 ГГц до 7 ГГц)</p>	<p>Селекція за допомогою фільтрів</p>

Продовження таблиці 9.15

1	2	3	4	5
<p>VHF-UHF дослідницький (тестовий) радіоприймач ESMA</p>	<p>Виявлення сигналів шляхом сканування діапазону частот або за списком Вимірювання параметрів радіосигналів Вимірювання зайнятості смуг частот Робота під управлінням ПЕОМ</p>	<p>від 20 кГц до 3 ГГц</p>	<p>Вихід ПЧ – 21,4 МГц Чутливість (сумарний коефіцієнт шуму) – 13,5 дБ (до частоти 650 МГц) і 14,5 дБ (на частотах до 1,3 ГГц) Стабільність частоти – <math>5 \times 10^{-6}</math> Ослаблення дзеркального каналу – не менше 90 дБ</p>	<p>Селекція за допомогою фільтрів</p>
<p>Моніторингові радіоприймачі EM550, EM050</p>	<p>Вимірювання параметрів сигналів Швидкість сканування 16 ГГц/с або 600 тис. каналів/с Демодуляція AM, FM, PM, USB, LSB, ISB, CW, TV, PULSE</p>	<p>від 20 МГц до 3,6 ГГц</p>	<p>Точність вимірювання частоти – <math>1 \times 10^{-7}</math> Відношення сигнал/шум AM - SINAD: понад 10 дБ FM - SINAD: понад 25 дБ Ослаблення радіозавади - не менше 90 дБ Ослаблення дзеркального каналу – не менше 90 дБ Вихід ПЧ - 21,4 ГГц</p>	<p>EM050 - у безкорпусному виконанні</p>
<p>Цифрові скануючі радіопеленгатори DDF0xS DDF01S DDF06S</p>	<p>Пеленгування ДРВ</p>	<p>від 0,5 МГц до 30 МГц від 0,5 МГц до 1,3 МГц</p>	<p>Швидкість сканування – 200 МГц/с (за методом Уотсона-Ватта) або 50 МГц/с (за кореляційно-інтерферометричним методом) Ослаблення дзеркального каналу – не менше 90 дБ Динамічний діапазон – 120 дБ (типовий)</p>	<p>На базі пеленгаторного процесора EBD92D Точність пеленгування – 0,7° (за методом Уотсона-Ватта)</p>



Кінець таблиці 9.15

1	2	3	4	5
<p>Цифрові моніторингові радіопеленгатори DDF0xM DDF01A DDF05A DDF06A</p>	<p>Пеленгування ДРВ GSM Пеленгування ДРВ GSM</p>	<p>від 0,3 (0,09) МГц до 30 МГц  від 20 МГц до 3 МГц від 0,3 МГц до 3 ГГц</p>	<p>Швидкість сканування – 0,5 МГц/с (із розрізненням 1 кГц) Динамічний діапазон – 120 дБ (типовий) Стабільність частоти – <math>2 \times 10^{-6}</math> Ослаблення дзеркального каналу – не менше 90 дБ</p>	<p>На базі пеленгаторного процесора EBD060A Точність пеленгування – від 1° до 3° (у залежності від застосованої антени)</p>
<p>КХ цифрові широкосмугові радіоприймачі EM510, EM010</p>	<p>Вимірювання параметрів сигналів Швидкість сканування - 16 ГГц/с або 600 тис. каналів/с</p>	<p>від 10 кГц до 32 МГц</p>	<p>Чутливість – мінус 103 дБм для АМ мінус 95 дБм для FM Динамічний діапазон - не менше 90 дБ Ослаблення дзеркального каналу – не менше 90 дБ</p>	<p>EM010 - у безкорпусному виконанні</p>
<p>Цифрові радіопеленгатори DDF190 DDF195</p>	<p>Пеленгування модульованих сигналів будь-якого типу Можливість виявлення дуже коротких сигналів (тривалістю 10 мс)</p>	<p>від 20 МГц до 1,3 ГГц (базовий комплект); розширення до смуги частот від 0,5 МГц до 3 ГГц</p>	<p>Чутливість пеленгування – від 1 мкВ/м до 4 мкВ/м Точність пеленгування – 1° (у діапазоні від 80 МГц до 1,3 ГГц) 2° (у діапазонах від 20 МГц до 80 МГц і від 1,3 ГГц до 3 ГГц) Вихід ПЧ - 10,7 ГГц або 21,4 ГГц</p>	<p>На базі пеленгаторного процесора EBD195 або EBD195 (відповідно) і антен FDD119, ADD195 та ADD071 Метод пеленгування – Уотсона-Ватта або кореляційно-інтерферометричний</p>
<p>Цифровий радіопеленгатор DDF100M</p>		<p>від 118 МГц до 280 МГц</p>		<p>На базі пеленгаторного процесора EBD100M</p>

Таблиця 9.16 – Функціональні можливості та технічні параметри обладнання виробництва ЗАТ „ІРКОС”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Технічні параметри	Примітки
1	2	3	4	5
Панорамні багатоканальні радіоприймачі АРК-РД8М („Аргамак-8М”) АРК-РД8 („Аргамак-8”)	Панорамний спектральний аналіз Вимірювання параметрів Контроль радіоканалів Технічний аналіз радіосигналів	від 9 кГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість – 1,5 мкВ Швидкість сканування – до 24 (64) ГГц/с Ослаблення радіозавади ПЧ – не менше 70 дБ Вибірковість за дзеркальним каналом – не менше 70 дБ	Управління від ПЕОМ До 4-х модулів оброблення інформації
Двоканальний панорамний радіоприймач АРК-ДП1	Панорамний спектральний аналіз Вимірювання параметрів Контроль радіоканалів Технічний аналіз радіосигналів Пеленгування ДРВ	від 25 МГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість – 1 мкВ Швидкість сканування – до 6 ГГц/с Ослаблення радіозавади ПЧ – не менше 70 дБ Вибірковість за дзеркальним каналом – не менше 70 дБ	Управління від ПЕОМ Застосовується для контролю проводових мереж і каналів витoku інформації
Двоканальний панорамний радіоприймач АРК-Д7К	Панорамний спектральний аналіз і контроль радіоканалів Технічний аналіз і вимірювання параметрів радіосигналів Пошук каналів витoku інформації  Пеленгування ДРВ	від 25 МГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект)  від 25 МГц до 3 ГГц	Швидкість у робочому діапазоні – 2,1 ГГц/с (одноканальний) 1,0 ГГц/с (двоканальний) Точність пеленгування - від 1° до 5° (під радіопрозорим ковпаком) від 1° до 3° (на щоглі) Чутливість пеленгування – (2-30) мкВ/м (під радіопрозорим ковпаком) (1-25) мкВ/м (на щоглі)	Управління від зовнішньої ПЕОМ



Кінець таблиці 9.16

1	2	3	4	5
Багато-функціональний портативний комплекс радіомоніторингу АРК-ДЦТМ	Радіомоніторинг Вимірювання параметрів сигналів Пошук каналів витoku інформації Технічний аналіз радіосигналів	від 9 кГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Швидкість у робочому діапазоні – 600 МГц/с	Управління від ПЕОМ
Вимірювач напруженості поля радіосигналів АРК-ИНІ („Артикул-И1“)	Виявлення радіовипромінювань Вимірювання напруженості електромагнітного поля	від 25 МГц до 1,3 ГГц (базовий комплект) від 25 МГц до 3 ГГц (повний комплект)	Чутливість за полем – (10–30) мкВ/м	Можливе застосування в мобільному варіанті
Цифровий панорамний радіоприймач АРК-ПР5 („Аргамак“, „Аргамак-5“)	Панорамний спектральний аналіз Вимірювання параметрів радіосигналів і напруженості електромагнітного поля Контроль радіоканалів Технічний аналіз радіосигналів	від 9 кГц до 3 ГГц (базовий комплект) від 9 кГц до 18 ГГц (повний комплект)	Динамічний діапазон: у смузі 5 МГц – 115 дБ у смузі 250 кГц – 130 дБ Чутливість за входом – 1,5 мкВ Ослаблення радіозавади за ПЧ – не менше 70 дБ Вибірковість за дзеркальним каналом – не менше 70 дБ	
Панорамний вимірювальний радіоприймач АРК-ДЦТР	Панорамний спектральний аналіз Виявлення радіовипромінювань Вимірювання параметрів радіосигналів і напруженості електромагнітного поля Контроль радіоканалів	від 20 МГц до 2,02 ГГц (базовий комплект) від 20 МГц до 18 ГГц (повний комплект)	Чутливість, обмежена шумами, у смугах частот: від 20 МГц до 1,012 ГГц -110 дБм (-3 дБмкВ; 0,71 мкВ) від 1,012 ГГц до 2,02 ГГц -107 дБм (0 дБмкВ; 1,0 мкВ) Швидкість сканування – 150 МГц/с Ослаблення за дзеркальним і побічним каналами за ПЧ – 70 дБ	

В табл. 9.17 наведені технічні параметри та характеристики обладнання радіомоніторингу виробництва компанії AOR.

Усі РПП компанії AOR допускають як ручне, так і програмоване встановлення частоти. За класифікацією компанії AOR РПП поділяються на переносні (портативні) та стаціонарні.

Таблиця 9.17 - Технічні параметри та характеристики обладнання радіомоніторингу виробництва компанії AOR

Назва та умовне позначення	Діапазон робочих частот, МГц	Вид модуляції сигналів, що приймаються	Крок пере-строювання частоти	Швидкість сканування
Портативний скануючий РПП AR-8200mk3	від 0,1 до 3000	NFM, WFM, AM, USB, LSB, CW,	від 0,05 Гц до 1000 кГц	до 37 каналів пам'яті/с,
Стаціонарний радіоприймач AR-8600mk2	від 0,1 до 3000	SFM, NAM, WAM	від 50 Гц до 999 кГц (програмований)	чутливість 0,3 мкВ
Стаціонарний сканер AR-5000A	від 0,01 до 2999	всі види модуляції	2,8/6/15/50/230 кГц	45 каналів пам'яті/с, чутливість 0,14 мкВ
AR-5000	від 0,01 до 2600	USB, CW, AM, FM, LSB	1 Гц	до 60 каналів пам'яті/с
AR-3000A	від 0,1 до 2030	всі види модуляції	50 Гц	до 50 каналів пам'яті/с, чутливість 0,25 мкВ
Аналізатор спектра SR-2000	від 25 до 3000	AM, NFM, WFM, SFM	—	чутливість 0,35 мкВ
AR-ONE	від 0,01 до 3300	AM, NFM, SSB, DATA, WFM, USB, LSB, CW	від 1 Гц до 500 кГц	
Короткохвильовий РПП AR-7030	від 0,001 до 32	AM, FM, SSB, CW		

**Таблиця 9.18-Технічні параметри та характеристики РПП виробництва компанії ICOM**

Назва та умовне позначення	Діапазон робочих частот, МГц	Вид модуляції сигналів, що приймаються	Крок перестроювання частоти	Швидкість сканування
IC-R9000L	від 0,1 до 1999,8	FM, WFM, AM, SSB, CW, SFM, FSK	від 10 Гц до 100 кГц	До 50 каналів пам'яті/с
IC-R7100	від 0,1 до 2000	FM, WFM, AM, AMW, SFM, FMN	100 Гц	
IC-R8500	від 0,1 до 2000	SSB, CW, AM, FM, WFM	0,01/0,05/0,1/1/2/5/9/10/12,5/20/25/100/1000 кГц	До 40 каналів пам'яті/с
IC-PCR1000	від 0,01 до 1300	USB, LSB, CW, AM, FM, WFM	1/5/6,25/9/10/12,5/15/20/25/30/50/100/150/1000 кГц	До 50 каналів пам'яті/с
IC-PCR1500	від 0,01 до 3999	USB, CW, AM, FM, WFM	2,8/6/15/50/230 кГц	До 60 каналів пам'яті/с
IC-R3 (портативний)	від 0,5 до 2450	TV PAL, AM, FM, WFM		
IC-R75 (КХ радіоприймач)	від 0,03 до 60	SSB, CW, AM, FM, WFM	120 каналів	До 40 каналів пам'яті/с
IC-R10 (портативний)	від 0,5 до 1300	SSB, CW, AM, FM, WFM	1000 каналів	Спектроскоп
Портативний скануючий РПП IC-R20	від 0,15 до 3300	Всі види модуляції	від 10 Гц до 100 кГц	30 каналів/с 1000 каналів

В табл. 9.19 наведені технічні параметри та характеристики РПП виробництва компанії „Winradio”

Таблиця 9.19 - Технічні параметри та характеристики радіоприймачів виробництва компанії „Winradio”

Назва та умовне позначення	Діапазон робочих частот	Технічні параметри	Примітки
Комп'ютерний радіоприймач WR-1550i	від 150 кГц до 1,5 ГГц	Чутливість – 0,4 мкВ Крок частоти – 100 Гц	AM/FM/WFM/SSB/CW Установлення в слот ISA
Комп'ютерний радіоприймач WR-1550e	від 150 кГц до 1,5 ГГц	Чутливість ~ 0,4 мкВ Крок частоти – 100 Гц	AM/FM/WFM/SSB/CW Зовнішній блок
Професійний комп'ютерний скануючий радіоприймач WR-3150e	від 150 кГц до 1,5 ГГц	Чутливість – 0,4 мкВ Крок частоти – 100 Гц	AM/NFM/WFM/USB/LSB/CW Програмування завдань
Професійний комп'ютерний скануючий радіоприймач WR-3500e	від 150 кГц до 2,5 ГГц	Чутливість – 0,4 мкВ Крок частоти – 100 Гц	AM/NF1/WFM/NF2/NF3/USB/LSB/CW Програмування завдань
Універсальний скануючий радіоприймач WR-1000i, WR3000i-DSP	від 500 кГц до 1,3 ГГц від 500 кГц до 1,5 ГГц	Чутливість – 0,5 мкВ Крок частоти – 100 Гц Швидкість сканування – 50 каналів/с	AM/NFM/WFM/SSB/CW Виконано у виді плати ISA IBM

### 9.13 Аналізатори спектра

Основні функціональні можливості, технічні характеристики та параметри аналізаторів спектра виробництва компанії „Rohde&Schwarz” наведені в табл. 9.20, компанії „ADVANTEST” - в табл. 9.21, компанії "Agilent Technologies" - в табл. 9.22, компанії „Anritsu" - в табл. 9.23.



Таблиця 9.20 - Аналізатори спектра виробництва компанії „Rohde&amp;Schwarz”

Умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Технічні параметри
FS300/FS315	Аналіз радіосигналів стандартів TDMA, GSM, W-CDMA, DECT, Bluetooth, WLAN (IEEE 802.11)	від 9 кГц до 3 ГГц	Точність вимірювання рівня – 1,5 дБ Діапазон смуги пропускання – 200 Гц - 1 МГц/ 20 МГц Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 110 дБм
FSP3 (7, 13, 30, 40)	Аналіз усіх видів радіосигналів, у тому числі, стандартів W-CDMA, GSM (EDGE)	від 9 кГц до 3 ГГц (7 ГГц, 13 ГГц, 30 ГГц, 40 ГГц)	Точність вимірювання рівня – 1,5 дБ (типова на частоті 3 ГГц) Діапазон смуги пропускання – 10 Гц - 10 МГц Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 145 дБм
FSU3 (8, 26, 43, 46, 50)	WLAN (IEEE 802.11 a/b/g/j), W-CDMA, cdma2000, TETRA, WiMAX, GSM/EDGE, Bluetooth	від 10 МГц до 3,6 ГГц (8 ГГц, 26 ГГц, 43 ГГц, 46 ГГц, 50 ГГц)	Точність вимірювання рівня – 0,3 дБ Діапазон смуги пропускання – 10 Гц - 50 МГц Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 158 дБм
FSL3 (6)	WLAN (IEEE 802.11 a/b/g/j), W-CDMA, cdma2000, TETRA, Bluetooth, усі види радіосиг- налів телевізійних стандартів	від 9 кГц до 3 ГГц (6 ГГц)	Точність вимірювання рівня – 0,5 дБ Діапазон смуги пропускання – 300 Гц - 10 МГц Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 152 дБм
FSQ3 (8, 26, 40)	WLAN (IEEE 802.11 a/b/g/j), W-CDMA, cdma2000, TETRA, Wi-MAX, GSM/EDGE, Bluetooth	від 20 Гц до 3,6 ГГц (8 ГГц, 26 ГГц, 40 ГГц)	Точність вимірювання рівня – 0,3 дБ Діапазон смуги пропускання – 10 Гц - 50 МГц Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 158 дБм (156 дБм, 156 дБм, 155 дБм)
FSEB30	Повнофункціональні аналізатори спектра	від 20 Гц до 7 ГГц	Точність вимірювання рівня – 1,0 дБ Діапазон смуги пропускання – 1 Гц - 10 МГц
FSEK30		від 20 Гц до 40 ГГц	Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 150 дБм для FSEB30, мінус 160 дБм для FSEK30
FSH3 (6)	Портативні аналізатори спектра Аналіз і вимірювання параметрів сигналів TDMA	від 100 кГц до 3 ГГц (6 ГГц)	Точність вимірювання рівня – 1,5 дБ Діапазон смуги пропускання – 10 Гц - 1 МГц Рівень шумів на частоті 1 ГГц – мінус 114 дБм

Таблиця 9.21 - Аналізатори спектра виробництва компанії „ADVANTEST”

Назва та умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Технічні параметри
1	2	3	4
U3641/U3641N	Аналіз сигналів стандартів CDMA, GSM-900, DCS-1800, DCS1900, вимірювання в кабельних телевізійних мережах	від 9 кГц до 3 ГГц	Точність вимірювання рівня – 1,0 дБ DANL = мінус 105 дБм (U3641) 22 дБмкВ (U3641N) Розрізнення – від 1 кГц до 3 МГц
U3661	Вимірювання рівня потужності сигналів у сусідніх каналах, ширини зайнятої смуги частот	від 9 кГц до 26,5 ГГц	Точність вимірювання рівня – 1,0 дБ Рівень шумів SSB - мінус 105 дБс/Гц Розрізнення – від 1 кГц до 3 МГц
Компактний аналізатор спектра U3741	Аналіз сигналів безпроводових мереж, мереж стільникового зв'язку, наземного цифрового телебачення	від 9 кГц до 3 ГГц	Рівень шумів – мінус 135 дБм (на частоті 1 ГГц)
Портативний аналізатор спектра U3751	Аналіз сигналів мереж стільникового зв'язку IMT-2000, W-CDMA (HSDPA), cdma2000 (1x EV-DV)	від 9 кГц до 8 ГГц	Точність вимірювання рівня – 0,8 дБ (у смузі частот від 10 МГц до 3 ГГц) 1,0 дБ (у смузі частот від 3 МГц до 8 МГц)
R3671	Вимірювання параметрів сигналів мереж покоління 3G і 3GPP:	від 9 кГц до 13 ГГц	Точність вимірювання рівня $\pm 0,73$ дБс/Гц (у смузі від 500 МГц до 2 ГГц) Рівень шумів – мінус 158 дБм (типовий) TOI = ном. + 26 дБм (у діапазоні частот від 2 ГГц до 3 ГГц)
R3681	W-CDMA (HSDPA), cdma2000 (1xEV-DV), GSM, Bluetooth, WLAN (IEEE 802.11a/b/g)/OFDM (IEEE 802.11a)	від 9 кГц до 32 ГГц	
R3477	Контроль сигналів мереж покоління 3G: W-CDMA GSM, (HSDPA), cdma2000 (1xEV-DV), PHS, WLAN (IEEE 802.11a/b/g)	від 9 кГц до 13,5 ГГц	Точність вимірювання рівня – 0,7 дБ (у смузі частот від 50 МГц до 2,5 ГГц) Смуга розрізнення від 1 Гц до 10 МГц



Кінець таблиці 9.21

1	2	3	4
R3132	Аналіз сигналів стандартів GSM, DECT, CDMA, cdma2000	від 9 кГц до 3 ГГц	Точність вимірювання рівня - 1,5 дБ Рівень шумів, що відображаються - 117 дБм Розрізнення - від 1 Гц до 1 кГц
R3162		від 9 кГц до 8 ГГц	
R3267	Повнофункціональний аналізатор спектра сигналів стандартів GSM, DECT, CDMA, cdma2000, W-CDMA, cdmaOne, GSM/DCS1800/PCS1900, PDC/PHS/IS-136	від 100 Гц до 8 ГГц	Розрізнення - від 10 Гц до 10 МГц Точність вимірювання рівня - 1 дБ Рівень шумів, що відображаються - мінус 154 дБм (на частоті 2 ГГц)
R3273		від 9 кГц до 26,5 ГГц	
R3131A	Аналіз ширококугових сигналів	від 9 кГц до 3 ГГц	Розрізнення - від 1 Гц до 1 кГц Точність вимірювання рівня - 1,5 дБ Рівень шумів - мінус 113 дБм
R3182	Аналіз сигналів стандартів GSM, DECT, CDMA, cdma2000	від 9 кГц до 40 ГГц	Точність вимірювання рівня - 1,5 дБ Рівень шумів SSB - 81 дБс/Гц Розрізнення - від 1 Гц до 1 кГц
R3172		від 9 кГц до 26,5 ГГц	
U3771	Повнофункціональні аналізатори спектра	від 9 кГц до 31,8 ГГц	Розрізнення - від 1 Гц до 1 кГц Точність вимірювання рівня - 1 дБ Рівень шумів SSB - 105 дБс/Гц
U3772		від 9 кГц до 40 ГГц	
U3773	Повнофункціональний аналізатор спектра	від 9 кГц до 43 ГГц	Розрізнення - від 1 Гц до 1 кГц Точність вимірювання рівня - 1 дБ Рівень шумів SSB - мінус 105 дБс/Гц
Портативний аналізатор спектра U3761	Аналіз сигналів стандартів CDMA і TDMA, GSM, PDC, PHS)	від 9 кГц до 26,5 ГГц	

Таблиця 9.22 - Аналізатори спектра виробництва компанії „Agilent Technologies”

Умовне позначення	Функціональні можливості	Діапазон частот	Технічні параметри
Аналізатори спектра серії PSA			
E4443A	W-CDMA (HSDPA), WLAN, GSM/EDGE, cdma2000, cdmaOne, DVB-T, 1xEV-DV(DO), W-CDMA (HSDPA), DVB-T, cdmaOne, cdma2000, GSM/EDGE, 1xEV-DV(DO)	20 МГц - 6,7 ГГц	Динамічний діапазон – 103 дБ Чутливість на частоті 1 ГГц – мінус 154 дБм Точність вимірювання рівня – 0,62 дБ Діапазон частот смуги пропускання – від 1 Гц до 8 МГц
E4445A		20 МГц - 13,2 ГГц	
E4440A		20 МГц - 26,5 ГГц	
E4447A		20 МГц - 42,98 ГГц	
E4446A		20 МГц - 44 ГГц	
E4448A	20 МГц - 50 ГГц		
Аналізатори спектра серії 8560С			
8560 EC	Аналіз сигналів стандартів NADC-TDMA, PDC, PHS та цифрового радіомовлення, Аналіз позасмугових випромінювань	30 Гц - 2,9 ГГц	Динамічний діапазон – (92 - 95) дБ Чутливість на частоті 1 ГГц – (мінус 145 - мінус 151) дБм Точність вимірювання рівня – (1,8 дБ - 2,1) дБ Діапазон частот смуги пропускання – від 1 Гц до 2 МГц
8562 EC		30 Гц - 13,2 ГГц	
8563 EC		9 кГц - 26,5 ГГц	
8564 EC		9 кГц - 40 ГГц	
8565 EC		9 кГц - 50 ГГц	
Портативні аналізатори спектра серії ESA			
E4411B ESA-L	Аналіз сигналів стандартів cdmaOne (IS-95A/C), GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA, Bluetooth, TETRA, IEEE 802.11a/b/g, DVB-T, HiperLAN/2	до 1,5 ГГц	Динамічний діапазон – 90 дБ Чутливість на частоті 1 ГГц – мінус 135 дБм Точність вимірювання рівня – 1,0 дБ Діапазон частот смуги пропускання – від 1 кГц до 5 МГц
E4403B ESA-L		до 3,0 ГГц	
E4408B ESA-L		до 26,5 ГГц	
E4402B ESA-E		до 3,0 ГГц	
E4404B ESA-E		до 6,7 ГГц	
E4405B ESA-E		до 13,2 ГГц	
E4407B ESA-E		до 26,5 ГГц	



Таблиця 9.23 - Аналізатори спектра виробництва компанії "

Умовне позначення	Діапазон частот	Рівень шумів, дБм	Ширина смуги частот	Примітки
MS2651B/ MS2661B/ MS2661C	9 кГц - 3 ГГц	мінус 110 мінус 115 мінус 115	30 Гц	Портативний
MS2663C	9 кГц - 8,1 ГГц	мінус 115	30	
MS2665C	9 кГц - 21,2 ГГц	мінус 115	30	Портативний
MS2667C	9 кГц - 30 ГГц	мінус 135	10	
MS2668C	9 кГц - 40 ГГц	мінус 135	10	
MS2681A	9 кГц - 3 ГГц	мінус 148	1 Гц - 20 МГц	
MS2683A	9 кГц - 7,8 ГГц	мінус 146,5	1 Гц - 20 МГц	
MS2687B	9 кГц - 30 ГГц	мінус 146,5	1 Гц - 20 МГц	
MS2711B	100 кГц - 3 ГГц	мінус 115	від 10 кГц до 1 МГц	Ручний
MS2711D	100 кГц - 3 ГГц	мінус 135		Ручний
MS2717A	100 кГц - 7,1 ГГц	мінус 153 (типова)	10 Гц - 3 МГц	Економічний
MS2717B	9 кГц - 7,1 ГГц	мінус 163 (типова)	1 Гц - 3 МГц	Економічний Для мереж W-CDMA, Wi-MAX
MS2718B	9 кГц - 13 ГГц	мінус 156 (1 ГГц) мінус 139 (3 ГГц)	1 Гц - 3 МГц	Економічний
MS2719B	9 кГц - 20 ГГц	мінус 136 (181 Гц)	1 Гц - 3 МГц	Економічний
MS2723B	9 кГц - 13 ГГц	мінус 156 (1 ГГц)	Портативний для аналізу сигналів мереж покоління 3G, W-CDMA (HSDPA), W-CDMA	
MS2724B	9 кГц - 20 ГГц	мінус 156 (1 ГГц)	Портативний для аналізу сигналів мереж покоління 3G, W-CDMA (HSDPA), W-CDMA, Wi-Fi	
MS8911A	100 кГц - 7,1 ГГц	Брак даних	Портативний аналізатор спектра для аналізу сигналів DVB-T/H	

## 9.14 Обладнання для оцінювання якості функціонування мереж зв'язку

Особливе місце серед великого різноманіття технічних засобів і обладнання радіомоніторингу займає обладнання для оцінювання якості функціонування мереж зв'язку, зокрема:

- зон радіопокриття;
- показників якості надання послуг зв'язку;
- параметрів радіовипромінювання.

Серед нього найвідоміше обладнання виробництва компанії „Rohde&Schwarz”:

- комплекс вимірювання зони радіопокриття для контролю пристроїв, отримання та оцінювання даних „ROMES”;
- портативна система вимірювання зони радіопокриття TS9951;
- професійна система вимірювання зони радіопокриття TS9955.

Крім нього, широко відомий також комплекс вимірювання зон радіопокриття „Хрет” компанії „R&D” (Росія, м. Москва).

Комплекс „ROMES” забезпечує контроль мереж зв'язку всіх стандартів GSM420/450/750/850/900/1800/1900/, GPRS, EDGE, HSCSD, E-GSM, GSM-R, CDMA (IS-95, J-STD-008), cdma2000 (1xEV-DO), WLAN (IEEE 802.11b), W-CDMA (UMTS-850, 1900, 2100, HSDPA), TV, DAB, DVB-T/H, систем навігації GPS, TP, NMEA, а також аналогових стандартів зв'язку в діапазоні частот від 9 кГц до 7 ГГц.

Функціональна схема комплексу „ROMES” зображена на рис. 9.23



**Рис. 9.23. Функціональна схема комплексу "ROMES"**  
**Найоптимальнішою вважається структура, до складу якої входять:**

- портативна ПЕОМ типу „Notebook" з інстальованим ПЗ „ROMES";
- 2 тестові мобільні термінали стандарту W-CDMA;
- 2 тестові мобільні термінали стандарту GSM; - 1 спеціалізований приймач TSMU;
- 1 приймач GPS.

ПЗ „ROMES" підтримує такі моделі тестових терміналів: Nokia 6650/7600/6630/6680/6230, Kyocera, серію Sagem OTxx, Siemens S55R&M65.

Стандарти зв'язку, що контролюються, визначаються комплектністю комплексу, що наведена в табл. 9.24.

**Таблиця**

Стандарт зв'язку	Комплектність
W-CDMA в I-VI діапазонах частот	TSMU з опцією TSMU-K11
W-CDMA, тестові термінали HSDPA	Тестові термінали: Nokia 6650/7600/6630/6680, QC 6200/50 (з опцією ROMES-V1) QC 6275 (з опцією ROMES-UM1,4 для W-CDMA включаючи HSDPA)
CDMA, cdma2000 (1xEV-DO)	TSMU (з опцією TSMU-K12)
cdma2000 (1xEV-DO)	Тестові термінали Kyocera K-40-4 (для CDMA з опцією ROMES-CM)
GSM-850/900/1800/1900, GSM-R	Тестові термінали серій Sagem OTx, Siemens S55R&M65, Nokia 6230 (з опцією ROMES-GM)
Вимірювання потужності CW	ESPI (з опцією ROMES-AS5) EB200/ESMB (з опцією ROMES-AS5) TSMU (з опцією TSMU-K15)
DVB-T/H	TSM-DVB (з опцією ROMES-DVB) TFA, DVQ, DVMQ (з опцією ROMES-D2, D3, D4)
DAB	Приймач 752 Philips (з опцією ROMES-D1)
WLAN	Карта PCMCIA/A, інтегрована в NDIS (з опцією ROMES-WM)
CW TETRA	TSMU (з опцією TSMU-K15)
Якість передавання звуку Voice Quality (PESQ)	Опція ROMES-Z8
Якість передавання зображення	Опція ROMES-Z7
Якість послуг QoS	Опція ROMES-Z6

### Аналізатори радіомереж TSMU, TSML, TSMQ

Аналізатори мереж TSMU, TSML, TSMQ відносяться до спеціалізованих засобів, призначених для вирішення завдань щодо оцінювання технічних параметрів і визначення

характеристик сигналів у мережах мобільного стільникового зв'язку. Коротка характеристика цих аналізаторів наведена в табл. 9.25.

Таблиця 9.25

Функція	Тип аналізатора		
		TSMU	TSMO
Моніторинг радіомереж W-CDMA, GSM, CDMA, CW	Для конкретної радіотехнології	Лише одна із радіотехнологій	Декілька радіотехнологій одночасно
Швидкодія	Звичайна	Висока	Дуже висока

Аналізатор радіомереж TMSL конструктивно складається з кількох модулів (TSMML-W/-G/-C/-CW), кожен з яких забезпечує вимірювання параметрів і визначення характеристик лише однієї радіотехнології: W-CDMA, GSM, CDMA (cdma2000 або IS-95) або вимірювання потужності (рівня) сигналу - за допомогою модуля TSMML-CW.

На відміну від нього аналізатор TSMQ здатний забезпечити моніторинг кількох мереж одночасно з різними швидкостями, а саме;

- 1) в режимі швидкого *СКАНУВАННЯ*:
  - радіотехнології W-CDMA — зі швидкістю до 20 мс на одне вимірювання;
  - радіотехнології GSM - зі швидкістю до 10 мс на один канал;
  - радіотехнології CDMA - зі швидкістю до 100 мс на одне вимірювання;
  - рівня сигналу (напруженості електромагнітного поля) не модульованих коливань - до 1,6 мс на одне вимірювання;

- 2) в режимі сканування кількох радіотехнологій;
  - паралельне сканування смуг частот W-CDMA, GSM, CDMA;
  - широкосмугове сканування всієї смуги частот однієї *РАДІОТЕХНОЛОГІЇ*;

- для радіотехнології W-CDMA - від 1-го до 9-го діапазонів частот із частотним розрізненням 200 кГц;

- для радіотехнології GSM - сканування діапазонів частот GSM-450/850/900/1700/1800/1900/E-GSM/R-GSM;'

- стандарту CDMA їх;

- *ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ* потужності CW у смузі частот від 80 МГц до 3 ГГц. Функціональна схема застосування аналізаторів радіомереж TSMQ і

TSMU наведена на рис. 9.24 та рис. 9.25 відповідно.



Рис. 9.24. Функціональна схема застосування аналізаторів TSMQ

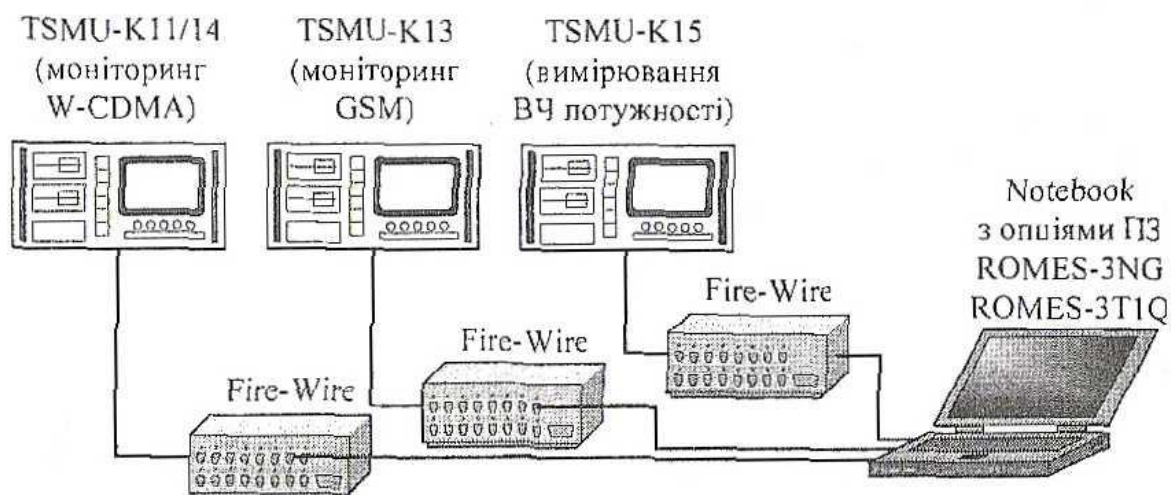


Рис. 9.25. Функціональна схема застосування аналізаторів TSMU

### Контроль мереж стандарту DVB-T

Для забезпечення контролю мереж стандарту DVB-T використовується приймач EFA або система TS9955. При цьому оцінюються такі параметри:

- рівень ВЧ сигналу (RXLevel);
- якість сигналу (Signal OK);
- бітова швидкість у певному тайм-слоті (TS bit rate);
- код OFDM;
- код MPEG;
- кодова швидкість (code rate);
- тип модуляції QAM (QAM order);
- захисний інтервал (guard interval);
- режим перетворення Фур'є (FFTmode);
- зсув частоти (DVB-T frequency offset);
- зсув бітової швидкості (bit rate offset);
- коефіцієнт бітових помилок (BER) до використання алгоритму Вітербі;
- коефіцієнт бітових помилок (BER) до використання алгоритму Ріда-Соломоиа;

- коефіцієнт бітових помилок (BER) після використання алгоритму РІда-Соломона. Ширина смуги частот каналу в режимі контролю мереж стандарту DVB-T складає 7 МГц (8 МГц).

#### Контроль мереж стандарту W-CDMA

В режимі контролю мереж стандарту W-CDMA комплекс „ROMES” забезпечує такі технічні характеристики:

- контроль до 12 частот одночасно;
- діапазон зміни значення смуги частот - від 80 МГц до 3 ГГц;
- розрізняювальна здатність за частотою - 0,1 Гц;
- точність вимірювання рівня - 1,5 дБ;
- точка перетину третього порядку (IP3) - більше 10 дБм.

В цьому режимі використовується сканер, який входить до складу аналізатора мереж TSMU. Смуги частот, які контролюються при цьому, наведені в табл. 9.26.

Таблиця 9.26

Смуга W-CDMA	Лінія „вгору”	Лінія „вниз”
I	від 1920 до 1980	від 2110 до 2170
II	від 1850 до 1910	від 1930 до 1990
(II)	від 1710 до (785	від 1805 до 1880
IV	від 1710 до 1755	від 2110 до 2155
V	від 824 до 849	від 869 до 894
VI	від 830 до 840	від 875 до 885
VII	від 880 до 915	від 925 до 960
VIII	від 2500 до 2570	від 2620 до 2690
IX	від 750 до 1785	від 1845 до 1880

В режимі контролю мереж стандарту W-CDMA вимірюються значення таких параметрів:

- потужність закодованого сигналу, що приймається (RSCP);
- потужність закодованого сигналу завади (ISCP);
- відношення сигнал/завада (Signal-to-interference Ratio, SIR);
- відношення енергії  $E_c$  чіпового сигналу, що приймається, до щільності потужності  $I_o$  у смузі частот ( $E_o/I_o$ );
- код скремблювання;
- доплерівський зсув частоти.

#### Контроль мереж стандарту GSM

Для забезпечення контролю мереж стандарту GSM використовуються аналізатори мереж TSMU, TSML та тестові мобільні термінали. Функціональна схема комплексу моніторингу мереж стандарту GSM зображена на рис. 9.26.





Рис. 9.26. Функціональна схема моніторингу мереж стандарту GSM

В режимі контролю мереж стандарту GSM комплекс „ROMES” (із модулем „ROMES-GS3”) забезпечує:

- вимірювання зони покриття та демодуляцію інформації виділеного каналу управління BCCH (MCC, MNC, CI);
- визначення місцезнаходження базових станцій і поповнення інформації БД обліку базових станцій мереж GSM;
- оцінювання якості обслуговування;
- аналіз завад у суміжних і сусідніх каналах;
- аналіз хендовера типу 2G/2G, 2G/3G, 3G/2G;
- перевірку відповідності параметрів мереж;
- вимірювання значень до 32 різних параметрів;
- швидкість аналізу - до 80 каналів/с;
- чутливість - мінус 112 дБм;
- точність вимірювання рівня - в межах  $\pm 1$  дБ.

Під час контролю комплекс „ROMES” забезпечує визначення таких характеристик базових станцій мережі GSM:

- географічні координати (широта та довгота);
- кодова потужність радіомовного каналу (BCCH);
- „забарвлений” код мережі (PLMN color code, NCC);
- параметр вибору стільника (Cell Identity, CI);

- „забарвлений” код базової станції (Base station Color Code, BCC)
- зональний код для радіосистеми (Location Area code, LAC);
- код країни в системі мобільного зв'язку (MCC);
- код мережі мобільного зв'язку (Mobile Network Code, MNC);
- найменування базової станції (Base Station Name, BSN);
- номер радіочастотного каналу BCCH (ARFCN).

Контроль мереж стандарту WLAN

В режимі контролю мережі стандарту IEEE 802.11b (DSSS) у смузі частот від 2,4 МГц до 2,4897 МГц комплекс „ROMES” (із модулем „ROMES-WM\*\*) забезпечує визначення інформації стосовно:

- ідентифікатора (імені) точки доступу (SSID);
  - рівня (напруженості електромагнітного поля) сигналу, що приймається (RSSI);
- оцінки якості приймання фрейму;
- MAC-адреси;
- частоти чи номера каналу;
- швидкості передавання даних, яка підтримується;
- рівня радіосигналу;
- виду ущільнення, що застосовується (DSSS/FHSS);
- пропускної здатності каналу приймання (RX Throughput);
  - пропускної здатності каналу передавання (TX Throughput). Контроль якості звуку

Функціональна схема каналу контролю якості звуку з метою оцінювання параметрів передавання звукової інформації стандартів GSM, W-CDMA і cdma2000 зображена на рис. 9.27.

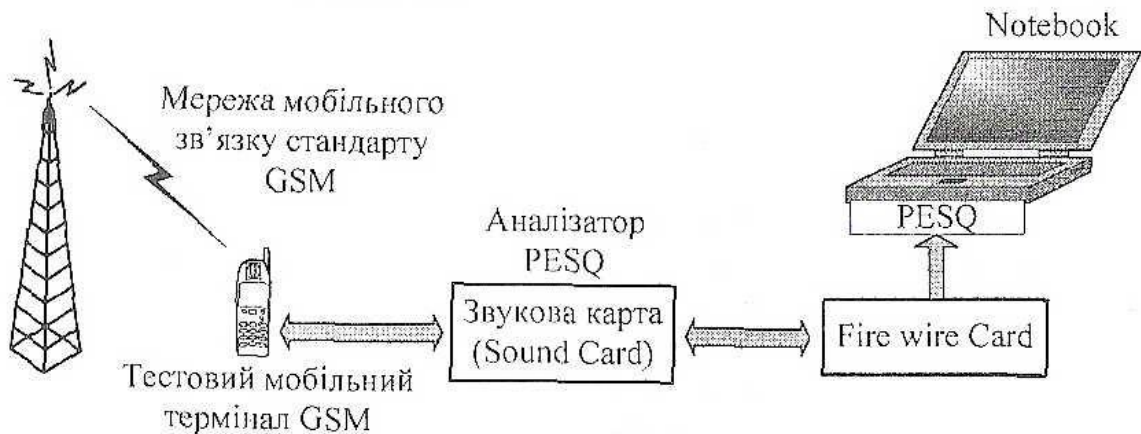


Рис. 9.27. Функціональна, схема каналу контролю якості звуку

Вимірювання якості звуку проводиться відповідно до Рекомендації ITU-R P.862 із використанням ПЗ PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality), яке дозволяє одночасно застосовувати до чотирьох мобільних терміналів,

Системи вимірювання зон покриття TS9951, TS9955  
Порівнювальні характеристики систем TS9951 і TS9955 наведені в табл. 9.27.



Таблиця 9.27

Назва характеристики	TS9951	TS9955
Стандарти зв'язку, сигнали яких контролюються	GSM-900/1800/1900, ETACS, DAB, CDMA (IS-95, J-STD-008)	GSM-900/1800/1900, ETACS, DAB, CDMA-800/1800/1900
Мобільність	Портативний	На автотранспортному засобі
Технічні засоби інформації	До чотирьох тестових мобільних терміналів + 1 приймач DAB	До чотирьох тестових терміналів GSM, до трьох тестових терміналів ETACS, до трьох тестових терміналів CDMA Тестові приймачі сімейства ESxx (ESVN, ESN, ESVS, ESVB, ESPC)
Застосоване ПЗ	„ROMES” „ROSEVAL”	„ROMES” „ROSEVAL”
Технічні параметри	Брак даних	Точність вимірювання напруженості електромагнітного поля – до 0,5 дБ Швидкість вимірювання – до 1 мс

Комплекс контролю якості послуг та оцінювання зон радіопокриття "Корунд"

Апаратно-програмний комплекс (АПК) „Корунд” виробництва компанії „R&D” (Росія) призначений для вимірювання зон обслуговування та контролю якості послуг, що надаються операторами мереж стільникового рухомого зв'язку систем GSM-900 і DCS-1800, згідно з Рекомендацією ITU-R SM. 1447 [181] та вимогами Керівного документа РБ П 02140.26-2004 [182].

Комплекс нині є найпоширенішим засобом, який використовується для вирішення відмічених раніше завдань у Російській Федерації та Республіці Білорусь. За своїми функціональними можливостями та технічними характеристиками в частині контролю зазначених систем зв'язку він фактично є аналогом комплексу „ROMES” в частині моніторингу та аналізу радіовипромінювань в мережах систем стільникового зв'язку GSM-900 та DCS-1800. Як джерела інформації в ньому використовуються тестові абонентські термінали.

ПЗ системи контролю мереж зв'язку дозволяє проводити збирання

*Інформації стосовно технічних параметрів, тестування показників якості, виявлення збоїв в роботі мереж зв'язку. Параметри, що контролюються*

Відображаються в реальному масштабі часу в табличній або графічній формі ТП можуть бути відтворені після закінчення сеансу збирання даних. ПЗ ДОЗВОЛЯЄ планувати контроль із різним складом обладнання, режимами відображення інформації та збирання даних. АПК „Корунд” забезпечує:

- автоматизоване тестування основних параметрів мережі рухомого зв'язку в режимі очікування чи з'єднання;
- вимірювання основних параметрів радіосигналів РЕЗ (потужності та напруженості електромагнітного поля радіовипромінювань, несучої частоти та її зсуву, ширини смуги частот випромінювання РЕЗ на заданому контрольному рівні, рівні побічних і позасмугових випромінювань контрольованих передавачів);
- тестування базових станцій для визначення границь стільників;
- відображення інформації в реальному масштабі часу в табличній або графічній формі;
- відображення визначених параметрів у реальному масштабі часу на цифровій карті місцевості (під час проведення драйв-тестів);
- збереження результатів вимірювання в базі даних;
- відтворення інформації з бази даних у реальному масштабі часу та в прискореному режимі;
- можливість подальшого статистичного оброблення результатів тестування та вимірювання (доступність мережі, якість і час установа з'єднання тощо);
- автоматизоване створення звітів різних типів (таблиця, діаграма, карта);
- управління тестовими мобільними терміналами з підтримкою GPRS;
- управління аналізаторами спектра серій ESA-E/L і FSH3;
- управління вимірювальними РПП типу ESMB і EB200;
- обмін даними з приймачами ГЛОНАСС/GPS за протоколом NMEA 0183.

Усі вимірювання мають прив'язку до географічних координат, що отримуються від приймача GPS. Параметри можуть відобразитися на цифровій карті в реальному часі під час відтворення даних.

Комплекс забезпечує оцінювання технічних параметрів і показників якості, які впливають на споживчі властивості послуг згідно з переліком, наведеним у табл. 9.28.

Визначення кількісних показників зазначених параметрів здійснюється на підставі застосування поширеного методу „контрольних викликів”, який базується на „зондуванні” базової станції серією запитів із подальшим розрахунком статистичних характеристик цих показників. Контрольні виклики

проводяться в періоди підвищеного навантаження на мережі рухомого зв'язку з тестових абонентських терміналів на інші тестові абонентські термінали.

Таблиця 9.28 - Технічні параметри та показники якості, які оцінюються комплексом „Корунд”

Споживчі властивості послуг	Показники якості, що впливають на споживчі властивості послуг	Параметри для розрахунків показників якості послуг
Доступність зв'язку	Частка невдалих викликів	Кількість невдалих контрольних викликів
Безперервність зв'язку	Частка викликів із передчасним роз'єднанням устанавленого з'єднання	Кількість контрольних викликів із передчасним роз'єднанням
Час затримки під час устанавлення з'єднання абонентів	Частка викликів, які не задовольняють нормативам за значенням часу затримки сигналу <i>Контроль посилення виклику (КПВ)</i>	Затримка сигналу відліку Кількість викликів, які не задовольняють нормативам за значенням часу затримки сигналу КПВ
Якість передавання сигналів мовлення під час з'єднання	Частка викликів, які не задовольняють нормативам якості передавання сигналів мовлення	Кількість викликів, які не задовольняють нормативам якості передавання сигналів мовлення

Необхідна загальна кількість контрольних викликів за термін випробування визначається згідно з даними табл. 9.29 і залежить від заданої точності оцінювання та нормативного значення показника.

Таблиця 9.29

Нормативне значення показника	Кількість контрольних викликів за точності оцінювання		
	5 %	10 %	15 %
0,01	39600	9900	2500
0,015	26200	6500	1600
0,02	19600	4900	1200
0,025	15600	3900	1000
0,03	12900	3200	800
0,05	11000	2700	700
0,4	9600	2400	600
0,5	7500	1900	500

Комплекс „Корунд” забезпечує можливість оцінювання показників якості для з'єднань у таких трьох напрямках:

1) внутрішні напрямки мережі рухомого зв'язку з урахуванням усіх можливих маршрутів устанавлення з'єднань (між двома абонентами мережі);

2) напрямки від мережі рухомого зв'язку до місцевої телефонної мережі загальноого користування (ТМЗК) з урахуванням усіх можливих маршрутів устанавлення з'єднання через мережу (між абонентами мережі рухомого зв'язку та ТМЗК);

3) напрямки від мережі рухомого зв'язку до автоматичної міжміської телефонної станції (АМТС) ТМЗК з урахуванням усіх можливих маршрутів устанавлення з'єднань через мережу (між абонентами мережі рухомого зв'язку та АМТС ТМЗК).

Функціональна схема АПК „Корунд” наведена на рис. 9.28.



Рис. 9.28. Функціональна схема АПК „Корунд”

Склад комплексу „Корунд” із зазначенням призначення кожного його складника наведений у табл. 9.30.

Тестові термінали Saget OT-290 і Saget OT-260 являють собою абонентські інженерні радіостанції зі спеціалізованою трейс-прошивкою, яка дозволяє виконувати тестування параметрів РЕЗ мереж рухомого зв'язку стандартів GSM-900, E-GSM, DCS-1800, R-GSM, GSM-900/1800. Крім того, термінал Saget OT-290 забезпечує можливість моніторингу GPRS Class 10.

В разі застосування аналізаторів спектра ESA-E/L, FSH3 або вимірювальних РПП типу ESMB і EB200 АПК забезпечує вимірювання таких параметрів електромагнітного випромінювання РЕЗ:

- напруженості електромагнітного поля і тільності потоку потужності;
- ширини смуги частот;
- зсуву несучої частоти;
- ширини смуги частот випромінювання РЕЗ на заданому контрольному рівні;
- рівнів побічних і позасмугових випромінювань передавачів;
- зон обслуговування мереж рухомого зв'язку для перевірки відповідності наданим ліцензіям (згідно з положеннями Рекомендації ITU-R SM.1447).



## „Корунд” та функції його складників

Назва обладнання АПК	Склад обладнання	Призначення обладнання
Тестові мобільні термінали стандартів GSM-900, DCS-1800	Від двох до чотирьох тестових терміналів типу Sagem OT-260 або Sagem OT-290 (з підтримкою GPRS) із зовнішніми антенами	Проведення автоматизованого тестування основних параметрів РЕЗ мережі рухомого зв'язку в режимі очікування чи з'єднання Приймання та декодування системних повідомлень базових станцій Забезпечення режиму сканування частотних каналів мережі рухомого зв'язку
Аналізатор спектра або вимірювальний РПП	Аналізатор спектра серій ESA–E/L або FSH3 Вимірювальний РПП типу ESMB, EB 200	Проведення автоматизованих вимірювань основних параметрів випромінювання РЕЗ мережі рухомого зв'язку Аналіз електромагнітної обстановки з метою забезпечення ЕМС
Системний процесорний контролер	PEOM типу Notebook	На базі спеціалізованого ПЗ забезпечується: - автоматизоване керування всіма елементами комплексу; - збирання, оброблення, відображення та збереження результатів тестування та вимірювання; - відображення місцезнаходження АПК; - статистичне оброблення інформації
Пристрій визначення місцезнаходження	Радіоприймач GPS	Вимірювання географічних координат і висоти точки місцезнаходження АПК, приймання сигналів системи точного астрономічного часу
Система електроживлення	Блок електроживлення Вторинне джерело електроживлення	Забезпечення автономного електроживлення АПК від мережі 220 В, 50 Гц або бортової мережі транспортного засобу (12 В)
Мобільна апаратна платформа	Кейс	Збереження, транспортування та робота АПК у мобільному та стаціонарному виконаннях

Вимірювання параметрів сигналів виконуються відповідно до положень таких нормативних документів:

- вимірювання частоти Рекомендація ІТУ-R SM.377 і Бюлетень ІТУ 272-5;

- вимірювання напруженості електромагнітного поля та щільності потоку потужності - Рекомендація ІТУ-R SM.378 і Бюлетень ІТУ 273-7;
- вимірювання ширини смуги частот - Рекомендація ІТУ-R SM.443;
- вимірювання параметрів модуляції—Бюлетень ІТУ 277-3;
- ідентифікація - Рекомендація ІТУ-R SM.978;
- вимірювання зон обслуговування мереж рухомого зв'язку для перевірки відповідності виданим ліцензіям — Рекомендація ІТУ-R SM.1447.

Методика застосування комплексу „Корунд” ґрунтується на проведенні вимірювань відмічених параметрів і визначенні зон обслуговування мережі рухомого зв'язку під час руху транспортного засобу.

## Розділ 10

### ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

#### 10.1. Загальна структура системи радіомоніторингу

ЮЛ Л Організаційна структура та вимоги до системи радіомоніторингу Система радіочастотного моніторингу (СРЧМ) може бути організована за різними структурами, але в будь-якому випадку до її складу повинні входити органи управління самою системою та джерела інформації про електромагнітну обстановку. Загальна організаційна структура СРЧМ визначена в [ 1 ] і наведена на рис 10.1.

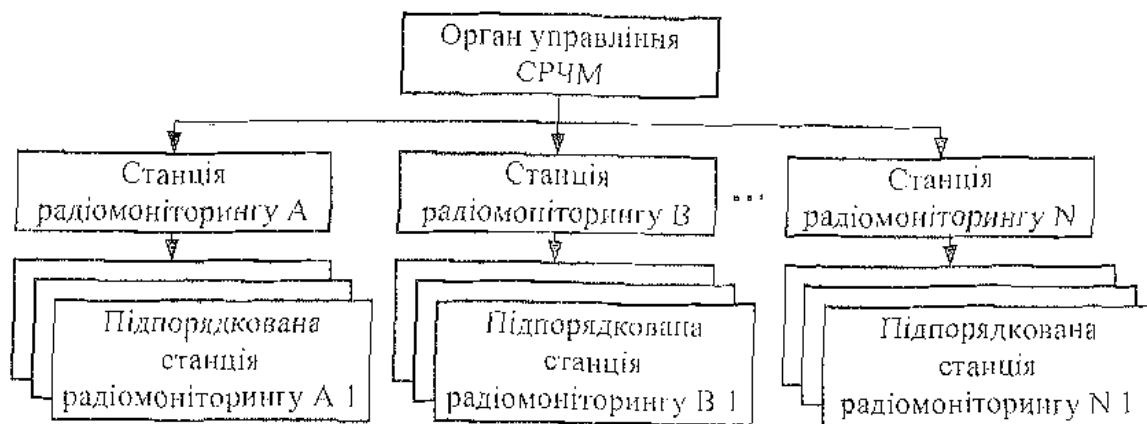


Рис. 10.1. Загальна організаційна структура системи радіомоніторингу

Інформаційну основу СРЧМ складають стаціонарні (фіксовані) станції радіомоніторингу (СРМ), які вирішують завдання радіомоніторингу в межах визначеного регіону (зони радіодоступності). їм можуть бути підпорядковані додаткові СРМ, зокрема: стаціонарні станції, які управляються дистанційно, а також рухомі (мобільні) станції радіомоніторингу.

Управління роботою всієї СРЧМ на вищому рівні здійснює спеціалізована організація, яка визначає завдання системи радіомоніторингу та забезпечує ресурси СРЧМ.

Згідно із пропозиціями Рекомендації ІТУ-R SM.1537 [177] СРЧМ повинна бути інтегрована до єдиної автоматизованої (комп'ютеризованої) системи управління використанням спектра. Для забезпечення вирішення завдань

радіомоніторингу на значних територіях (у межах великих за розмірами країн) структура СРЧМ повинна бути побудована за багаторівневим

Ієрархічним принципом. При цьому вона передбачає наявність у своєму складі(рис. 10.2):

- Центрального (головного) пункту управління; регіональних підсистем радіомоніторингу (РПРМ);
- технічної служби радіомоніторингу.

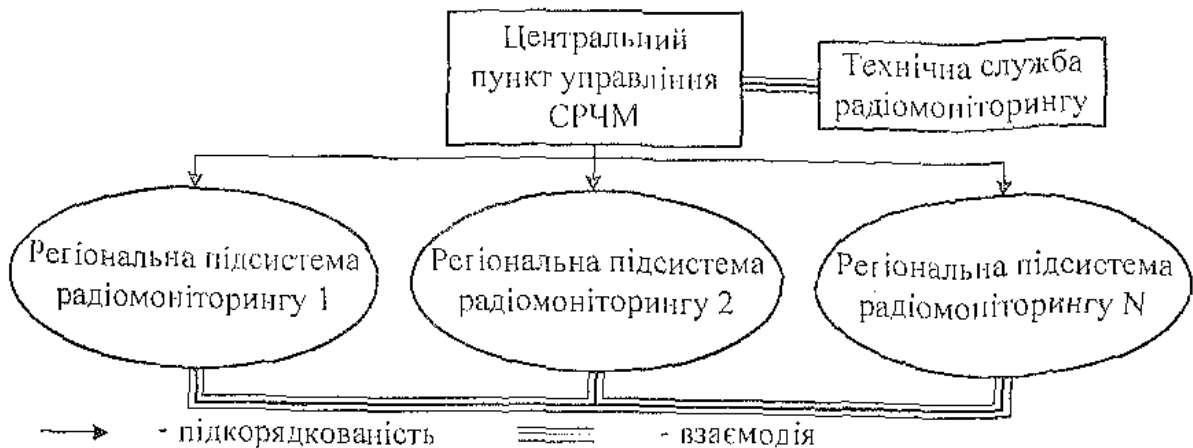


Рис. 10.2. Загальна структура СРЧМ

Центральний пункт управління забезпечує керування роботою РПРМ і контроль за їхньою діяльністю, а також узагальнення результатів радіомоніторингу всіх РПРМ. Проведення радіомоніторингу є виключно прерогативою РПРМ. Завдання технічної служби радіомоніторингу — це технічна підтримка та забезпечення вирішення нестандартних завдань радіомоніторингу (наприклад, проведення радіомоніторингу у смугах радіочастот понад 3 ГГц і за межами зон радіодоступності РПРМ, дослідження випадків виникнення радіозавад тощо).

Топологія СРЧМ (кількість і географічна конфігурація розташування СРМ) визначається для кожної країни окремо. Вона залежить від багатьох чинників, зокрема, від:

- завдань, покладених на СРЧМ;
- фінансових можливостей кожної країни;
- адміністративного устрою країни;
- географічних особливостей ландшафту території;
- структури щільності розподілу РЕЗ по її території.

### 10.1.2 Загальні вимоги до елементів АСРМ

Для забезпечення ефективного вирішення завдань радіомоніторингу окремі СРМ об'єднуються в єдину автоматизовану систему радіомоніторингу (АСРМ). Пропозиції щодо загальної структури АСРМ визначені в [1].

Узагальнена структурна схема АСРМ зображена на рис. 10.3.

До складу АСРМ входять такі елементи:

- пункт (центр) управління (ПУ) АСРМ;
- фіксовані (стаціонарні) станції радіомоніторингу;
- мобільні (рухомі) станції радіомоніторингу;
- віддалені станції радіомоніторингу.

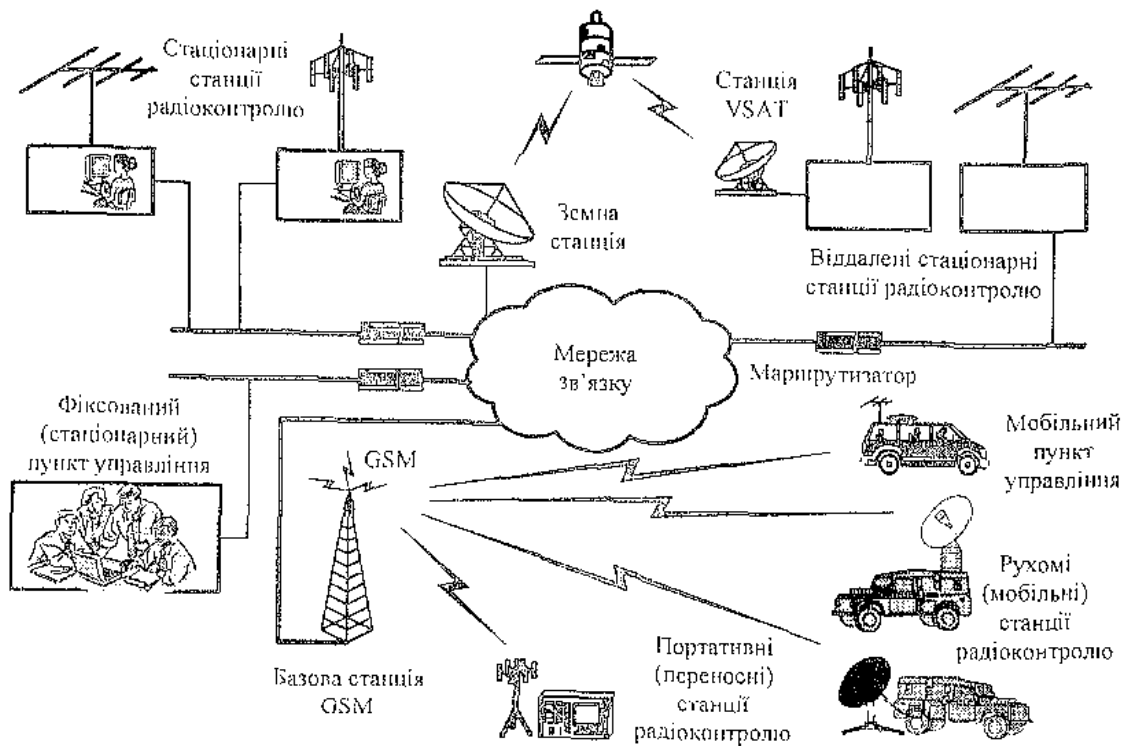


Рис. 103. Загальна структура автоматизованої системи радіомоніторингу

Окрім стаціонарного ПУ в складі РПРМ можуть використовуватися й мобільні ПУ. На них покладаються завдання щодо керування роботою СРМ і контроль за їхньою діяльністю, забезпечення спільного статистичного оброблення, узагальнення та аналізу результатів радіомоніторингу, а також взаємодії із системою (БД) обліку частотних присвоєнь.

За діапазонами частот та функціональним призначенням СРМ розподіляються на 6 типів [1]:

- базова СРМ: радіопеленгаторна станція, яка працює в діапазоні частот від 20 МГц до 1350 МГц (до 3 ГГц);
- стандартна СРМ: станція, що працює в діапазоні частот від 20 МГц до 1350 МГц (до 3 ГГц) і до складу якої входить один радіопеленгатор і один вимірювальний РПП;
- багатоканальна СРМ: станція, що працює в діапазоні частот від 20 МГц до 1350 МГц (до 3 ГГц) і оснащена одним радіопеленгатором та одним-чотирма вимірювальними РПП;
- рухома СРМ: радіопеленгаторна станція, яка працює в діапазоні частот від 20 МГц до 1 ГГц, розташована на транспортному засобі й функціональні можливості якої аналогічні базовій СРМ;
- портативна СРМ: радіопеленгаторна станція для діапазону частот від 20 МГц до 1 ГГц, обладнання якої розташоване в спеціальному корпусі, а функціональні можливості аналогічні базовій СРМ;
- переносна СРМ: станція, що працює в діапазоні частот від 20 МГц до 1 ГГц і до складу якої входить один радіопеленгатор та один вимірювальний РПП (обладнання аналогічне стандартній СРМ і розміщене в рухомому укритті, а АС розташована на щоглі висотою до 30 м);

За допомогою додаткового обладнання частотний діапазон базової, стандартної та багатоканальної СРМ може бути розширений до 9 кГц.



Усі типи СРМ повинні бути повністю автоматизовані та мати можливість роботи у двох режимах:

- робота віддаленої СРМ як місцевої в режимі online (під керуванням оператором);
- робота віддаленої СРМ у режимі дистанційного управління („пакетний" режим), за якого СРМ виконує планові завдання радіомоніторингу автоматизовано,

З точки зору мобільності СРМ поділяються на стаціонарні (фіксовані), мобільні (рухомі) та портативні.

Стаціонарні станції (комплекси) радіомоніторингу призначені для забезпечення постійного цілодобового моніторингу та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання у межах міст із високою щільністю розташування РЕЗ та окремих населених пунктів, які мають важливе призначення (залізничних вузлів, портових міст, міст, *поряд* з якими розташовані електростанції, тощо).

Мобільні (рухомі) комплекси (станції) радіомоніторингу (МКРМ) призначені для вирішення завдань радіомоніторингу за межами зон радіо-доступності стаціонарних СРМ, а також у тих місцях, де проведення радіомоніторингу стаціонарними засобами неможливо. В деяких випадках МКРМ можуть додатково оснащуватися портативним обладнанням для проведення спеціальних вимірювань у місцях, де його проведення іншими засобами неможливо (в приміщеннях, на дахах будівель тощо).

На відміну від стаціонарних і мобільних засобів за своїми функціональними можливостями портативне обладнання в більшості випадків здатне забезпечувати технічний радіоконтроль у більш високих діапазонах частот.

Ефективність роботи всієї СРЧМ значною мірою визначається рівнем автоматизації процесів радіомоніторингу. Застосування режимів дистанційного управління обладнанням радіомоніторингу в поєднанні з автоматизацією процесу вимірювання дозволяє продуктивніше використовувати ресурси СРЧМ і виконувати більш складні функції. Крім зменшення часу на виконання операцій радіомоніторингу, автоматизація сприяє не лише скороченню кількості персоналу, необхідного для експлуатації станцій, а й залученню кваліфікованого персоналу для вирішення пріоритетніших завдань, зокрема, для роботи на МКРМ і проведення аналізу результатів радіомоніторингу.

За оціночними розрахунковими даними, максимальний радіус зони радіодосягнення багатofункціональних стаціонарних СРМ, розташованих на домінуючих будівлях на висоті близько 30 м, у режимі виявлення радіовипромінювання передавачів з вихідною потужністю 10 Вт у діапазоні частот від 100 МГц до 1 ГГц складає приблизно (20 - 25) км.

В умовах щільної міської забудови максимальна відстань, на якій СРМ забезпечує вимірювання параметрів радіовипромінювання та пеленгування ДРВ у зазначеному діапазоні частот становить приблизно (10 - 15) км, а для створення суцільної зони визначення місцезнаходження ДРВ (з вихідною потужністю передавачів 10Вт) орієнтовна відстань між сусідніми стаціонарними РКП діапазону СВЧ повинна бути не більшою (8-10) км.

При цьому вимоги до топології РПРМ у межах міста зумовлені необхідністю забезпечення якісного визначення місцезнаходження ДРВ за результатами його пеленгування. Для виключення виникнення затінених зон, в яких можуть знаходитися ДРВ, за умови розгортання двох пеленгаторних постів вони повинні розташовуватись ближче до околиці міста не діаметрально протилежно один одному, а під кутом близько 90° відносно центральної частини міста (рис. 10.4, а). У разі

розгортання трьох постів вони повинні розташовуватися за трикутною конфігурацією (рис. 10.4, б). Топологія розташування пеленгаторних постів у межах великих міст залежить від багатьох чинників і потребує ретельного планування.

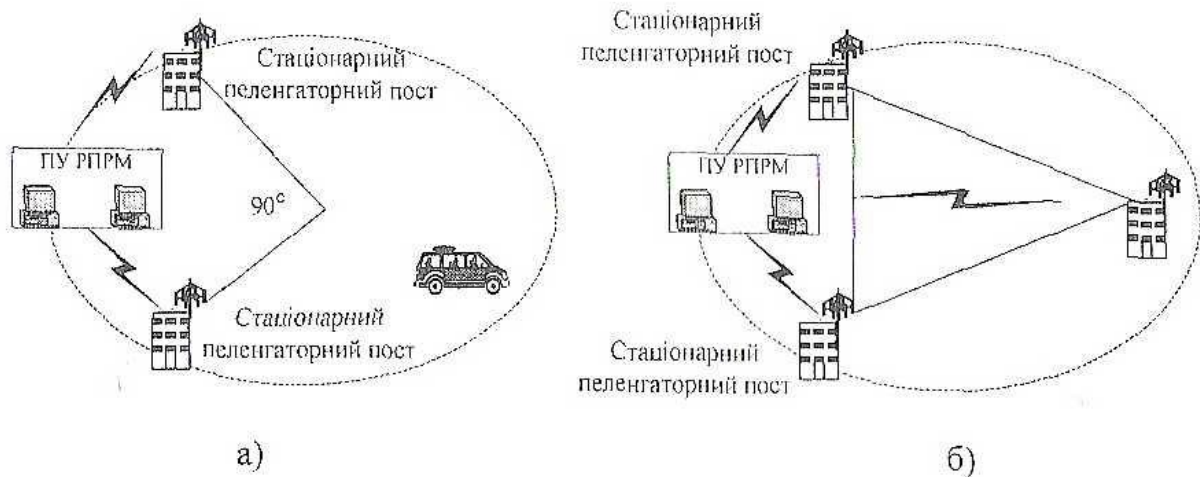


Рис. 10.4. Топологія пеленгаторних постів

Радіопеленгаторне обладнання, яке нині використовується для оснащення стаціонарних СРМ, забезпечує пеленгування в діапазонах частот СЧ/ВЧ (від 300 кГц до 30 МГц) або в діапазонах ДВЧ/УВЧ (від 30 МГц до 3 ГГц). На СРМ радіопеленгаторне обладнання може об'єднуватися із засобами вимірної техніки чи складатися із окремих блоків.

На автоматизовані СРМ покладається виконання одноманітних типових завдань, які повторюються. Докладніше завдання, що покладаються на станції радіомоніторингу, розглядаються нижче.

## 10.2 Національні системи радіомоніторингу 10.2.1 Система радіомоніторингу Франції

У Франції повноваження у сфері радіомоніторингу покладені на Головний центр Національного управління радіозв'язку [9, 16]. Крім цього, на нього також покладені завдання щодо частотного планування використання РЧР, радіоконтролю та інспектування передавачів. АСРМ Франції є складовою частиною автоматизованої системи адміністративного та технічного управління використанням РЧС ELLIPSE. За допомогою системи ELLIPSE організується проведення планових або цільових вимірювань параметрів радіовипромінювання в будь-якому регіональному пункті радіомоніторингу. АСРМ Франції має класичну структуру та побудована за централізовано-територіальним принципом. Стосовно забезпечення радіомоніторингу територія Франції поділена на 6 зон, у кожній з яких є свій центр радіомоніторингу, що здійснює контроль, за роботою РЕЗ у зоні своїх повноважень за допомогою мережі автоматичних СРМ. Основу зональних СРМ складають системи контролю спектра CDS 2G, узагальнена архітектура яких зображена на рис. 10.5.

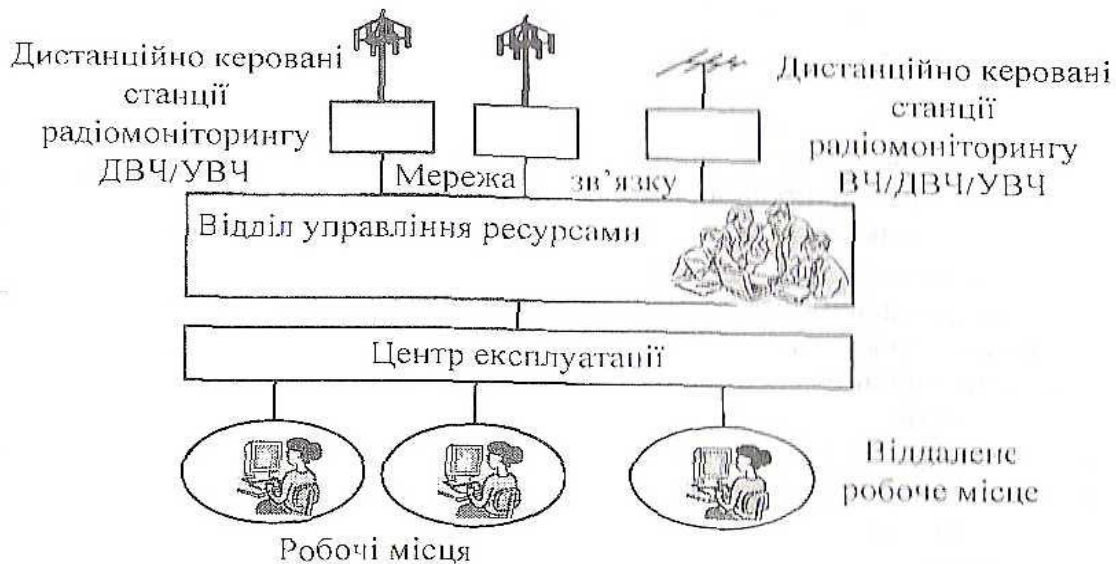


Рис. 10.5. Структурна схема системи контролю спектра CDS 2G,

За способом пересування СРМ поділяються на стаціонарні (фіксовані), пересувні та рухомі (мобільні).

Основу АСРМ Франції складають стаціонарні СРМ, кожна з яких обов'язково має у своєму складі радіопеленгатор. У складі СРЧМ Франції нараховується близько 60 стаціонарних стандартних СРМ, які розташовані на домінуючих елементах місцевості по всій території країни, переважно поблизу великих населених пунктів.

У складі СРЧМ Франції використовуються три типи СРМ:

- стандартна СРМ, яка має один вимірювальний РПП та один радіопеленгатор (діапазон частот контролю - від 20 МГц до 1350 МГц);
- багатоканальна СРМ, яка має до чотирьох вимірювальних РПП та один радіопеленгатор (діапазон частот контролю - від 20 МГц до 1350 МГц);
- спрощена (базова) СРМ, яка оснащена лише одним радіопеленгатором (діапазон частот контролю - від 20 МГц до 1350 МГц).

Пересувні СРМ можуть змінювати своє розташування та використовуватися як фіксовані.

Мобільні СРМ використовуються, переважно, для уточнення місцезнаходження ДРВ на підставі даних, отриманих від фіксованих СРМ, і оснащені відносно дешевим обладнанням. Крім того, для вирішення спеціальних завдань, зокрема, для виконання складних і точних вимірювань, у складі СРЧМ використовуються мобільні радіоконтрольні лабораторії.

Основу технічного оснащення СРЧМ Франції складає обладнання корпорації „Thaies”: система моніторингу TRC8000 і пеленгаторна система сімейства TRC8010, зокрема, фіксована (стаціонарна) станція TRC8011 і мобільна станція TRC8012, Системна та програмна сумісність обладнання радіомоніторингу сприяє забезпеченню створення будь-якої конфігурації елементів СРЧМ від окремої СРМ до регіональних пунктів.

СРЧМ Франції забезпечує виявлення, контроль параметрів радіовипромінювання та визначення місцезнаходження ДРВ у діапазоні частот від 20 МГц до 1350 МГц (у базовому варіанті) з можливістю розширення робочого діапазону частот „вниз” до 9кГц і „вгору” до 2,7 ГГц. Декілька СРМ залучаються для проведення вимірювань у зазначеному діапазоні частот під час проведення моніторингових кампаній. Решта СРМ

працюють у цілодобовому режимі та забезпечують спостереження за станом електромагнітної обстановки і виявлення порушень у сфері використання РЧР у „стандартному” діапазоні частот (від 20 МГц до 1350 МГц).

Для проведення спеціальних вимірювань, пошуку джерел радіозавад і незаконно діючих передавачів, а також для забезпечення радіомоніторингу в діапазоні частот понад 3 ГГц використовуються мобільні СРМ, якими оснащені всі зональні системи. Крім того, для уточнення результатів радіомоніторингу використовуються портативні засоби радіомоніторингу.

СРЧМ Франції не забезпечує постійне (тотальне) спостереження за станом електромагнітної обстановки в діапазонах частот вище 3 ГГц. Будь-які заходи щодо проведення робіт із радіомоніторингу (технічного радіоконтролю) в діапазонах частот понад 3 ГГц можуть виконуватися лише з метою здійснення вимірювань в інтересах дослідних випробувань, а також пошуку та усунення джерел радіозавад шляхом застосування мобільних і портативних засобів

*Повноваження у сфері радіомоніторингу в Німеччині покладені на Комітет з управління радіозв'язком та поштою, який підпорядкований Федеральному міністерству економіки [9]. З точки зору забезпечення радіомоніторингу територія Німеччини розподілена на 7 регіонів, у кожному з яких є центральні відділення (офіси) служби радіомоніторингу, на які покладені такі завдання;*

- *дистанційний контроль параметрів радіовипромінювання на відповідність умовам ліцензій;*
- *пошук і припинення дії незаконно діючих передавачів;*
- *вимірювання зон обслуговування;*

*- забезпечення роботи ліній зв'язку у спеціальних випадках. До складу СРЧМ Німеччини входять:*

- *46 стаціонарних пеленгаторів діапазонів ДВЧ/УВЧ;*

- *мобільні пеленгатори діапазонів ДВЧ/УВЧ;*

- *дистанційно керовані пеленгатори діапазону ВЧ, які об'єднані в пеленгаторну мережу;*

- *66 вимірювальних дистанційно керованих СРМ;*

- *близько 50 мобільних СРМ;*

- *1 станція радіоконтролю космічних служб.*

*Із 46 пеленгаторів діапазонів ДВЧ/УВЧ 23 управляються дистанційно (7 розташовані безпосередньо в офісах служби радіомоніторингу, 16 - в інших місцях регіонів Німеччини).*

*Мережа радіомоніторингу, до якої входять 66 вимірювальних станцій, забезпечує спостереження та контроль параметрів радіовипромінювання віддалених ДРВ у діапазоні частот до 1350 МГц. Для забезпечення вимірювань на частотах понад 1350 МГц (до 40 ГГц) використовуються мобільні СРМ, які можуть додатково оснащатися аналізаторами спектра та декодерами. Обладнання застосовується, зокрема, для пошуку та виявлення джерел радіозавад із метою усунення їхньої дії.*

*Основу технічного оснащення СРЧМ Німеччини складає обладнання компанії Rohde&Schwarz: приймачі ESN, ESVN, ESMC, EK890 - EK896, станції радіоконтролю TS9961, TS9965 (у стаціонарному та мобільному виконанні).*

*Частотний діапазон переважної більшості зазначеного обладнання обмежується 3 ГГц.*

### 10.23 Система радіомоніторингу Великої Британії

*Повноваження у сфері радіомоніторингу у Великій Британії покладені на Агенцію радіозв'язку, яка є виконавчим органом Міністерства торгівлі та промисловості [9]. З точки зору вирішення питань радіомоніторингу територія Великої Британії поділена на п'ять регіонів. До складу її СРЧМ входять відділи контролю стаціонарних і рухомих РЕЗ, а також відділ контролю космічних засобів зв'язку, робота якого базується на застосуванні стаціонарної станції радіомоніторингу (у м. Белдок). Виконання завдань радіомоніторингу рухомих РЕЗ забезпечуються шляхом застосуванням мобільних засобів.*

Для забезпечення радіомоніторингу стаціонарних РЕЗ у діапазонах ДВЧ/УВЧ використовуються 41 спеціалізована автоматизована система з можливістю легкого розгортання з метою вирішення оперативних завдань збирання інформації щодо визначення реального стану електромагнітної обстановки у певних місцях території Великої Британії. Такі системи забезпечують радіомоніторинг у смузі частот максимум до 3 ГГц.

Відділ контролю космічних засобів зв'язку забезпечує радіомоніторинг супутникових систем, які працюють у діапазонах частот від 1 ГГц до 2 ГГц, від 3,4 ГГц до 4,2 ГГц і від 10,7 ГГц до 12,75 ГГц. Крім того, до структури відділу входять дві мобільні лабораторії ЕМС, які забезпечують радіомоніторинг (вимірювання напруженості електромагнітного поля та пеленгування ДРВ) у діапазоні частот від 9 кГц до 105 ГГц.

### 10.2.4 Система радіоконтролю Російської Федерації

Повноваження у сфері радіоконтролю в Російській Федерації покладені на Національну систему радіоконтролю, яка є частиною Федеральної системи управління використанням РЧС [10, 146] і знаходиться нині у стадії реформування. Фрагмент її структури зображений на рис. 10.6.

Основою Національної системи радіоконтролю є локальні мережі радіоконтролю в регіональних відділеннях, які, у свою чергу, підпорядковані окружним управлінням радіоконтролю. Загальне управління системою радіоконтролю Російської Федерації здійснює центр управління радіоконтролем. Орієнтовна схема розташування елементів локальної системи радіомоніторингу в окремому населеному пункті зображена на рис. 10.7.

Комплект обладнання локальної СРЧМ забезпечує в діапазоні частот від 30 МГц до 3 ГГц вирішення таких завдань радіомоніторингу:

- пошук радіовипромінювань у заданій смузі радіочастот;
- радіоспостереження за електромагнітною обстановкою;
- вимірювання параметрів і характеристик сигналів РЕЗ;
- визначення місцезнаходження ДРВ.

Моніторинг стану електромагнітної обстановки в крупних населених пунктах організується шляхом проведення планового періодичного радіомоніторингу з використанням сучасних стаціонарних комплексів, у середніх та



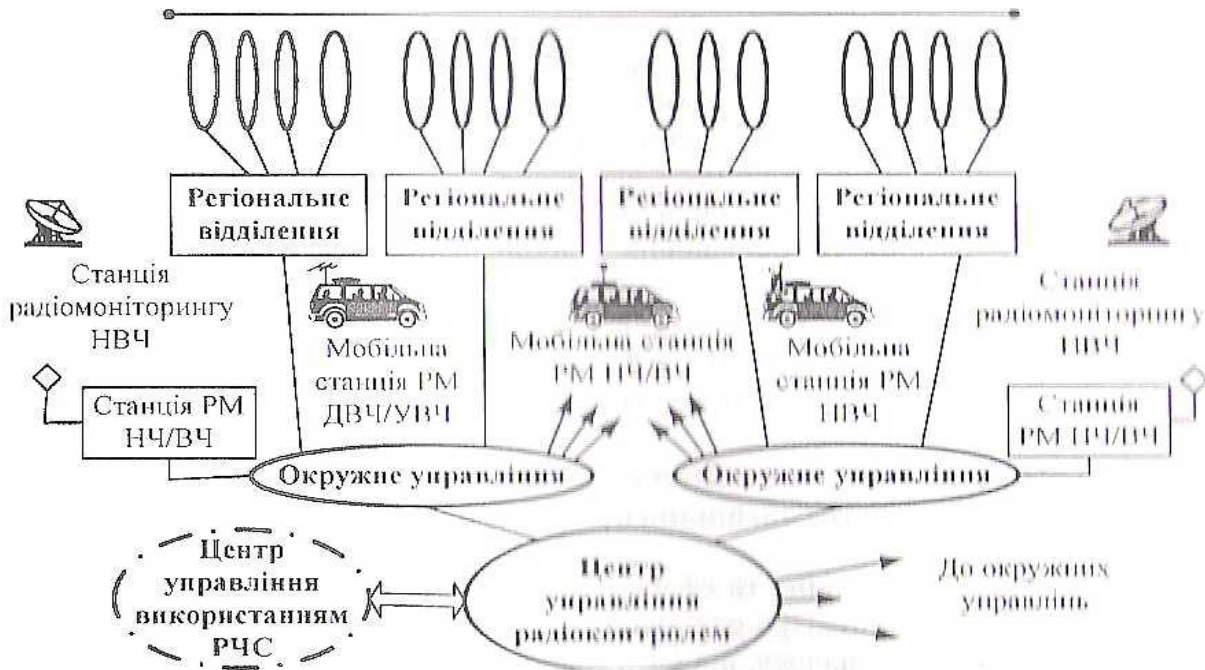


Рис. 10.6. Фрагмент структури Національної системи радіоконтролю Російської Федерації



Рис. 10.7. Орієнтовна схема розташування елементів локальної системи радіомоніторингу

невеликих містах - за запитами щодо наявності радіозавад із використанням відносно дешевих СРМ.

Для забезпечення радіомоніторингу випромінювань космічних РЕЗ і РЕЗ у діапазонах НЧ/ВЧ використовуються як стаціонарні СРМ, які дислокуються при окружних управліннях, так і мобільні станції при регіональних (обласних і районних) відділеннях. та РЕЗ у діапазонах НЧ/ВЧ використовуються як стаціонарні СРМ, які дислокуються при окружних управліннях, так і мобільні станції при регіональних (обласних і районних) відділеннях.

Усі мобільні станції радіомоніторингу оснащені портативним обладнанням для забезпечення визначення місцезнаходження ДРВ у діапазонах ДВЧ/УВЧ. Для

радіомоніторингу в діапазонах до 18 ГГц і до 40 ГГц використовуються спеціалізовані мобільні станції при окружних управліннях.

Основа технічного оснащення Національної системи радіоконтролю Російської Федерації складають станції (комплекси) радіомоніторингу російського виробництва на базі застосування зв'язкових скануючих приймачів типів ICOM (IC-7100, IC-8500) і (AR3000A, AR5000), а також P-399A. Крім того, додатково використовується обладнання фірми Thomson-.CSF

10.3 Організація та завдання системи радіомоніторингу в смугах радіочастот загального користування в Україні

Місце, мета, завдання та сфера повноважень СРЧМ в Україні визначаються Законом України „Про радіочастотний ресурс України” [6].

Історично так склалося, що СРЧМ України складається із двох окремих систем: СРЧМ у смугах радіочастот загального користування та СРЧМ у смугах радіочастот спеціального користування. При цьому обидві системи функціонують автономно й незалежно одна від одної. Взаємодія між ними організована на рівні надання іншій системі інформації за запитом.

СРЧМ у смугах радіочастот спеціального користування складається з підсистем радіомоніторингу декількох відомств, які самостійно вирішують питання радіомоніторингу у відповідних смугах радіочастот: Міністерства Оборони, Служби безпеки України та Міністерства внутрішніх справ.

Організаційно СРЧМ у смугах радіочастот загального користування представляє собою СРЧМ УДЦР, яка складається з управління радіочастотного моніторингу (УРЧМ), як структурного підрозділу УДЦР, і підрозділів радіоконтролю в 26 регіональних філіях УДЦР. Структура взаємодії органів радіочастотного моніторингу у смугах радіочастот загального користування в Україні зображена на рис. 10.8.

Система радіочастотного моніторингу УДЦР має ієрархічну структуру і включає до себе такі елементи:

- Пункт управління (ПУ) АСРМ у м. Києві;
- підсистема радіомоніторингу в м. Києві;
- підрозділи радіоконтролю в 24 регіональних філіях УДЦР та м. Севастополі;
- управління радіочастотного моніторингу як структурний підрозділ УДЦР.

Технічну основу СРЧМ УДЦР складає автоматизована система радіомоніторингу. Загальна структура АСРМ УДЦР наведена на рис 10.9.

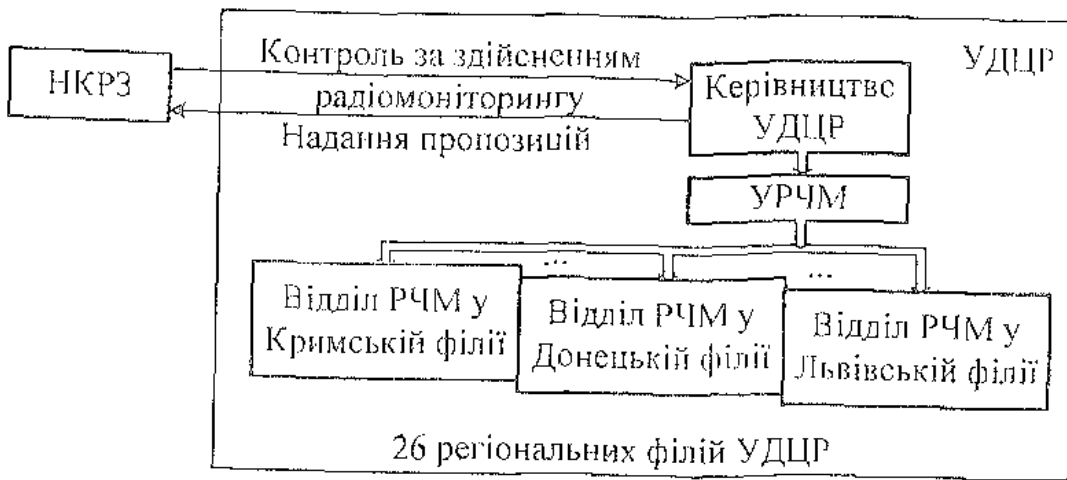


Рис. 10.8. Фрагмент структури СРЧМ УДЦР

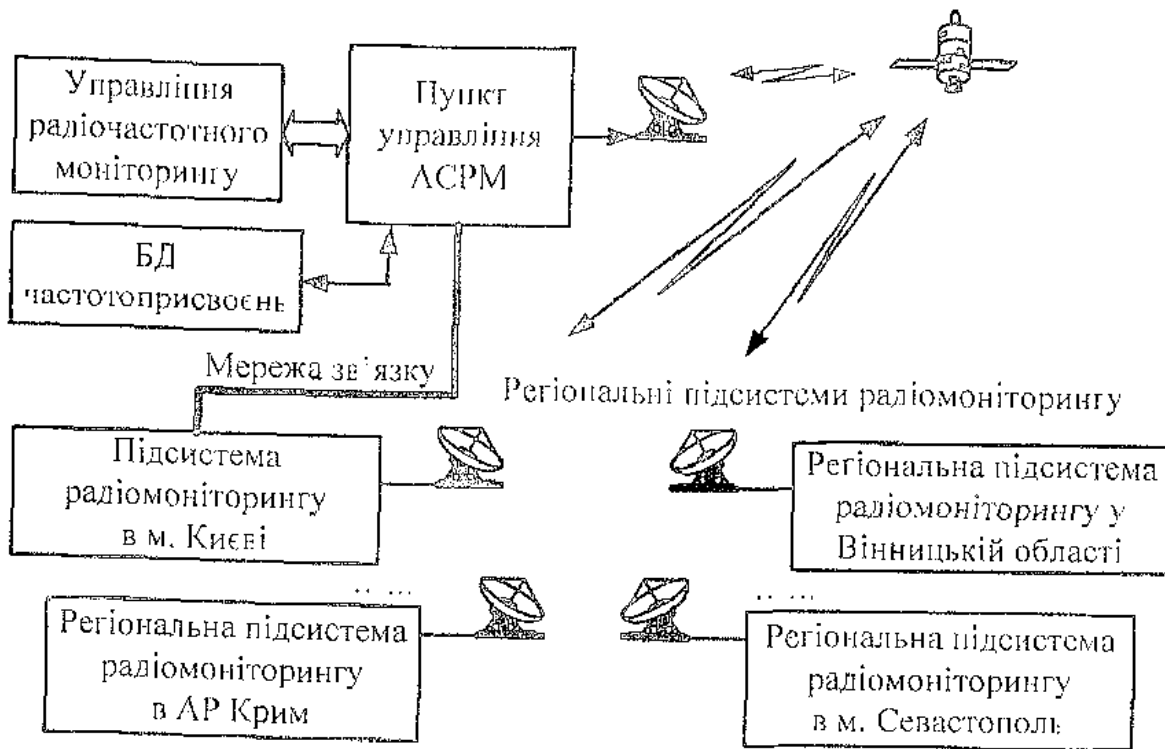


Рис. 10.9. Загальна структура АСРМ

УРЧМ забезпечує виконання завдань радіомоніторингу в м. Києві і надання допомоги регіональним філіям УДЦР у частині виконання спеціалізованих завдань радіомоніторингу та технічного радіоконтролю (виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювання в діапазонах частот понад 3 ГГц) у регіонах, а також вирішення завдань щодо виявлення радіозавод.

ПУ АСРМ призначений для управління та координації робіт із радіомоніторингу і забезпечує:

- планування завдань радіомоніторингу для РПРМ та окремих РКП;
- формування завдань для РПРМ і окремих віддалених постів РКП;

- отримання інформації за результатами радіомоніторингу від РПРМ і окремих віддалених РКП;



- аналіз інформації, отриманої за результатами радіомоніторингу від РПРМ та окремих віддалених РКП;

- оброблення та збереження інформації радіомоніторингу;

- поточний моніторинг і контроль роботи РПРМ і окремих віддалених РКП;

- оновлення БД обліку частотних присвоєнь і РЕЗ у РПРМ. Пункт управління АСРМ оснащений:

АРМ оброблення та управління РС-157У;

- АРМ автоматизованої системи інформаційного та розрахунково-аналітичного забезпечення робіт із частотними присвоєннями і користувачами РЧРРС-135У.

Структура взаємодії елементів ПУ АСРМ зображена на рис. 10.10.

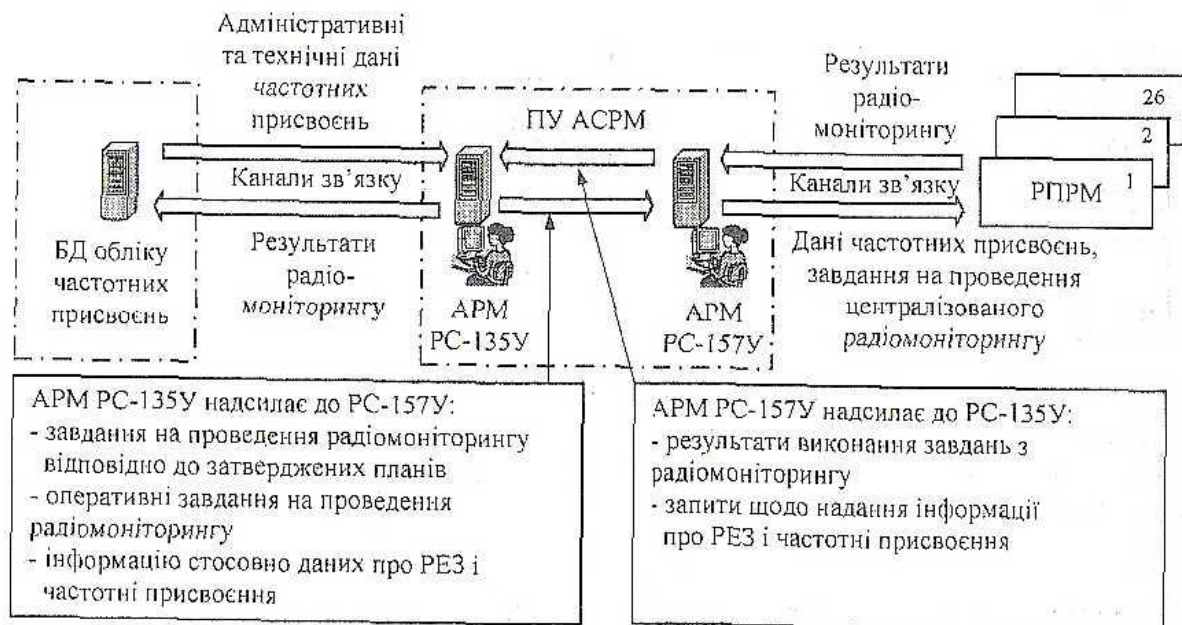


Рис. 10.10. Структура взаємодії елементів ПУ АСРМ

На РПРМ покладено вирішення завдань радіомоніторингу в межах регіонів (областей). Узагальнена структура РПРМ, яка нині реалізована в більшості регіональних філій УДЦР, і структура взаємодії з ПУ АСРМ наведена на рис. 9.22.

Організаційно РПРМ включає до свого складу;

- пункт управління (ПУ) РПРМ;

- стаціонарні РКП в обласному центрі;

- віддалені стаціонарні РКП у деяких містах регіону;

- мобільні комплекси (станції) радіомоніторингу;

- канали зв'язку для забезпечення взаємодії між ПУ РПРМ і РКП. Як відмічено вище, пункт управління РПРМ оснащений:

- АРМ управління РПРМ РС-157Р;

- АРМ обліку частотних присвоєнь і результатів радіомоніторингу РС135Р.

Структура взаємодії між АРМ РС-135Р і АРМ РС-157Р зображена на рис. 10.11.

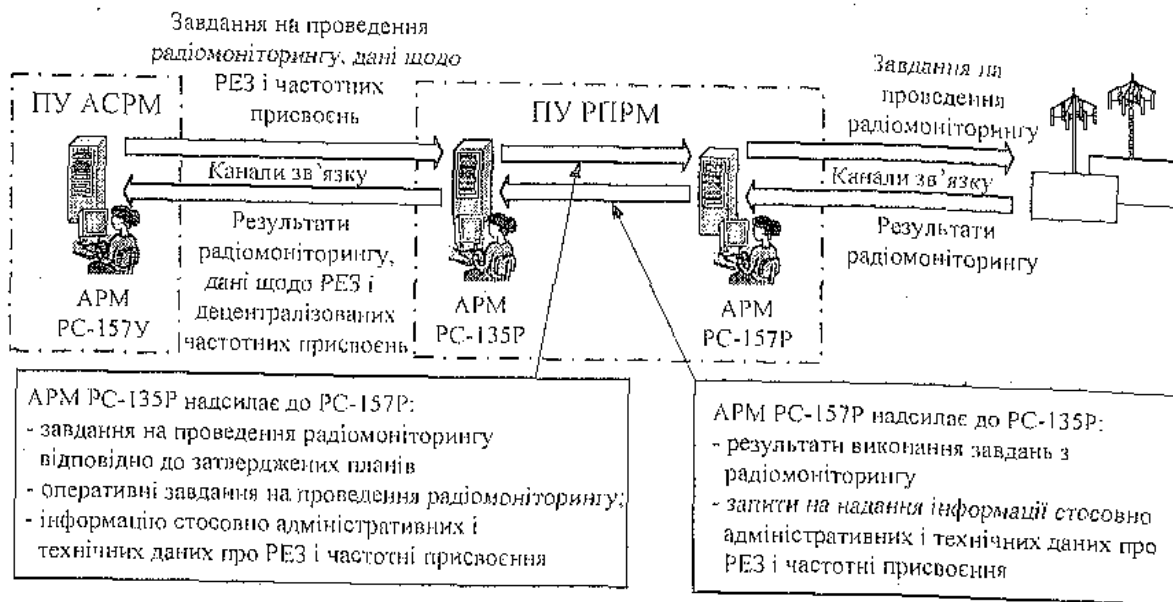


Рис. 10,11. Структура взаємодії між АРМ РС-135Р і АРМ РС-157Р

За своїми функціональними можливостями АРМ РС-135Р здатне забезпечувати:

- планування радіомоніторингу для окремих РКП у складі РПРМ;
- супроводження, поповнення та збереження адміністративних і технічних даних стосовно частотних присвоєнь і РЕЗ, які територіально розташовані в межах області;
- формування звітних документів за результатами радіомоніторингу;
- перевірку функціонування АРМ РС-157Р шляхом надання контрольних завдань;
- підготовку завдань щодо моніторингу (контролю) роботи окремих РКП;
- розрахунок зон покриття РЕЗ;

За своїми функціональними можливостями АРМ РС-157Р здатне забезпечувати:

- підготовку та видачу завдань на проведення радіомоніторингу для окремих РКП у складі РПРМ;
- підготовку та видачу завдань на проведення радіомоніторингу для мобільних комплексів радіомоніторингу;
- отримання інформації за результатами радіомоніторингу від окремих РКП і мобільних комплексів радіомоніторингу;
- оброблення результатів радіомоніторингу (в тому числі, узагальнення інформації від декількох РКП у випадках проведення синхронного пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ);
- перевірку функціонування каналів зв'язку з віддаленими РКП;
- накопичення та збереження результатів радіомоніторингу в БД радіо-обстановки.

Під час оброблення результатів радіомоніторингу, отриманих від окремих РКП та (або) мобільних комплексів радіомоніторингу, за своїми функціональними можливостями АРМ РС-157Р здатне здійснювати:

- розділення сигналів за ДРВ;
- ідентифікацію ДРВ;
- виявлення та визначення місцезнаходження незаконно діючих передавачів;

- оцінювання завантаження діапазонів частот;
- автоматичний контроль параметрів сигналів, що приймаються.

Стаціонарні РКП оснащуються стаціонарними комплексами (станціями) радіомоніторингу, які за своїм призначенням і виконуваними завданнями поділяються на:

- комплекси (станції) виявлення та технічного аналізу;
- багатофункціональні комплекси радіомоніторингу.

Для забезпечення вирішення завдань щодо визначення місцезнаходження ДРВ стаціонарними засобами в обласних центрах розгорнута мережа з декількох стаціонарних РКП оснащених багатофункціональними комплексами радіомоніторингу з функціями радіопеленгування. При цьому спільне оброблення результатів пеленгування для розрахунків місцезнаходження ДРВ виконується на ПУ РПРМ. Багатофункціональні комплекси (станції) радіомоніторингу (РМ-2500Р та АИК-С) одночасно виконують також завдання щодо виявлення та технічного аналізу радіовипромінювань. Віддалені СРМ в інших містах області виконують лише завдання щодо виявлення радіовипромінювань та їхнього технічного аналізу.

Станом на 20.05.2008 р. у складі СРЧМ УДЦР нараховується:

- 7 багатофункціональних стаціонарних комплексів радіомоніторингу РМ-2500Р;
- 72 стаціонарних автоматизованих вимірювальних комплекси із функцією пеленгування АИК-С;
- 30 стаціонарних автоматизованих комплексів виявлення та технічного аналізу (без функції пеленгування) АИК-СП;
- стаціонарна станція радіомоніторингу FMS1-UA;
- 1 мобільна станція радіомоніторингу MMS1-UA;
- 33 мобільних комплексів радіомоніторингу сімейства РМ-1300 (РМ-ІЗОМ, РМ-1300М-1, РМ-1300М-1М, РМ-1300М-1РЗ, М-1300М-ІР4);
- 41 мобільний комплекс радіомоніторингу РМ-1300М1-РЗ/5;
- 1 мобільна спеціалізована станція технічного контролю ССТК.

#### 10.4 Розрахунок зони радіодоступності стаціонарної СРМ

*Ефективність функціонування кожної окремої РПРМ у значній мірі залежить від її топології (кількості та місць розташування стаціонарних РКП) і функціональних можливостей обладнання. Топологія РПРМ визначається, виходячи із критеріїв:*

- забезпечення максимального охоплення РЕЗ у межах населеного пункту;
- створення зони визначення місцезнаходження ДРВ;
- можливість організації зв'язку між ПУ РПРМ і РКП;
- можливість нарощування системи радіомоніторингу.

*Експериментальні випробування різних конфігурацій місць розташування РКП для кожної РПРМ пов'язані зі значними фінансовими витратами та організаційними труднощами щодо отримання дозволів муніципальних органів влади на розгортання обладнання, тому вважаються недоцільними. У зв'язку з цим під час проектування топологій РПРМ задовольняються оцінками їхніх можливостей за результатами орієнтовних розрахунків зон радіодоступності окремих РКП і всієї РПРМ взагалі за умови розташування РКП у певних місцях.*

*Реально в цілому зону радіодоступності РКП визначають:*

- зона виявлення (спостереження) радіовипромінювання;
- зона пеленгування ДРВ;
- зона вимірювання основних параметрів радіовипромінювання;
- зона вимірювання додаткових параметрів радіовипромінювання.

*Ці зони відрізняються одна від одної заданим пороговим рівнем чутливості РПП стаціонарної станції радіомоніторингу, що забезпечує вирішення окремих завдань.*

*Крім того, встановлюються зони виявлення, пеленгування, вимірювання основних і додаткових параметрів радіовипромінювання для кожної РПРМ шляхом об'єднання відповідних зон окремих РКП, а також зона визначення місцезнаходження ДРВ як зона перекриття зон пеленгування окремих РКП, що входять до складу РПРМ.*

*Для розрахунків зон радіодоступності використовується розроблена Д.П.*

*Валіковим програма, яка ґрунтується на застосуванні визначеної Рекомендацією ІТУ-Р Р.1546 [57] процедури прогнозування напруженості електромагнітного поля на трасах „пункт-зона” для радіомовної, сухопутної рухомої, морської рухомої та деяких фіксованих радіослужб (наприклад, таких, які використовують системи зв'язку „пункт-багато пунктів”) для діапазону частот від 30 МГц до 3000 МГц і для відстаней від 1 км до 1000 км. У цій рекомендації наведені криві поширення - графічні залежності рівня напруженості електромагнітного поля від відстані до передавача для різних значень ефективної висоти підвісу антени передавача, частоти, виду поверхні Землі (морська чи сухопутна), відсотків часу, протягом яких спостерігається сигнал.*

Розрахунок зони радіодоступності виконується за таким алгоритмом;

1. Задається значення частоти  $f$ , для якої необхідно виконати розрахунки зони радіодоступності, в діапазоні від 100 МГц до 3000 МГц і значення  $e.i.v.p.$ , РЕЗ.

2. Визначається територія, в межах якої необхідно оцінити зону радіодоступності стаціонарного РКП. З урахуванням географічного положення України розрахунки здійснюються лише для умов сухопутної траси.

3. Визначається відсоток часу, протягом якого допускається незначне погіршення показників якості приймання сигналів (1 %, 10% або 50%). З урахуванням завдань СРЧМ його доцільно задавати рівним 50 %.

4. Визначена територія поділяється на елементарні майданчики, розміри яких обмежуються розрізнявальною здатністю цифрових карт місцевості, що застосовуються при розрахунках (на практиці вони становлять близько 50 м x 50 м).

5. Для кожного елементарного майданчика визначається відстань  $d$  до РКП і розраховується ефективна висота підвісу антени стаціонарної станції радіомоніторингу  $h_1$  шляхом усереднення висот рельєфу місцевості в діапазоні відстаней  $0,2 d - d$  від передавача з дискретністю 50 м. Для реальних умов розрахунків зон радіодоступності відстань  $d$  обмежується значенням (15 — 25) км, а висота  $h_1$  значенням (30 - 100) м.

6. З використанням графіків або табличних значень наведених у [57] залежностей рівня напруженості електромагнітного поля від відстані для заданих значень  $d$  і  $h_1$  визначається значення напруженості електромагнітного поля  $E$ . Приклад такого графіка наведений на рис. 10.12.

7. Якщо значення  $h_1$  співпадає з одним із 8 фіксованих значень висоти, для яких наведені графіки (10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 і 1200 м), то необхідну напруженість електромагнітного поля  $E$  можна визначити безпосередньо із самих графіків.

В іншому випадку значення

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h_1 / h_{inf}) / \log(h_{sup} / h_{inf}) \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad (10.1)$$

де  $E_{inf}$  – напруженість електромагнітного поля для висоти  $h_{inf}$  на певній відстані  $d$ ;

$E_{sup}$  – напруженість електромагнітного поля для висоти  $h_{sup}$  на певній відстані  $d$ ;

$h_{inf}$  – значення найближчої номінальної ефективної висоти, меншої  $h_1$  (10; 20; 37,5 м);

$h_{sup}$  – значення найближчої номінальної ефективної висоти, більшої  $h_1$  (20; 37,5; 75; 150 м).

В разі, якщо значення частоти співпадає з одним із зазначених у [57] номінальних значень (100, 600 або 2000 МГц), то напруженість електромагнітного поля визначається безпосередньо із графіків, в іншому випадку - шляхом інтерполяції між цими значеннями.

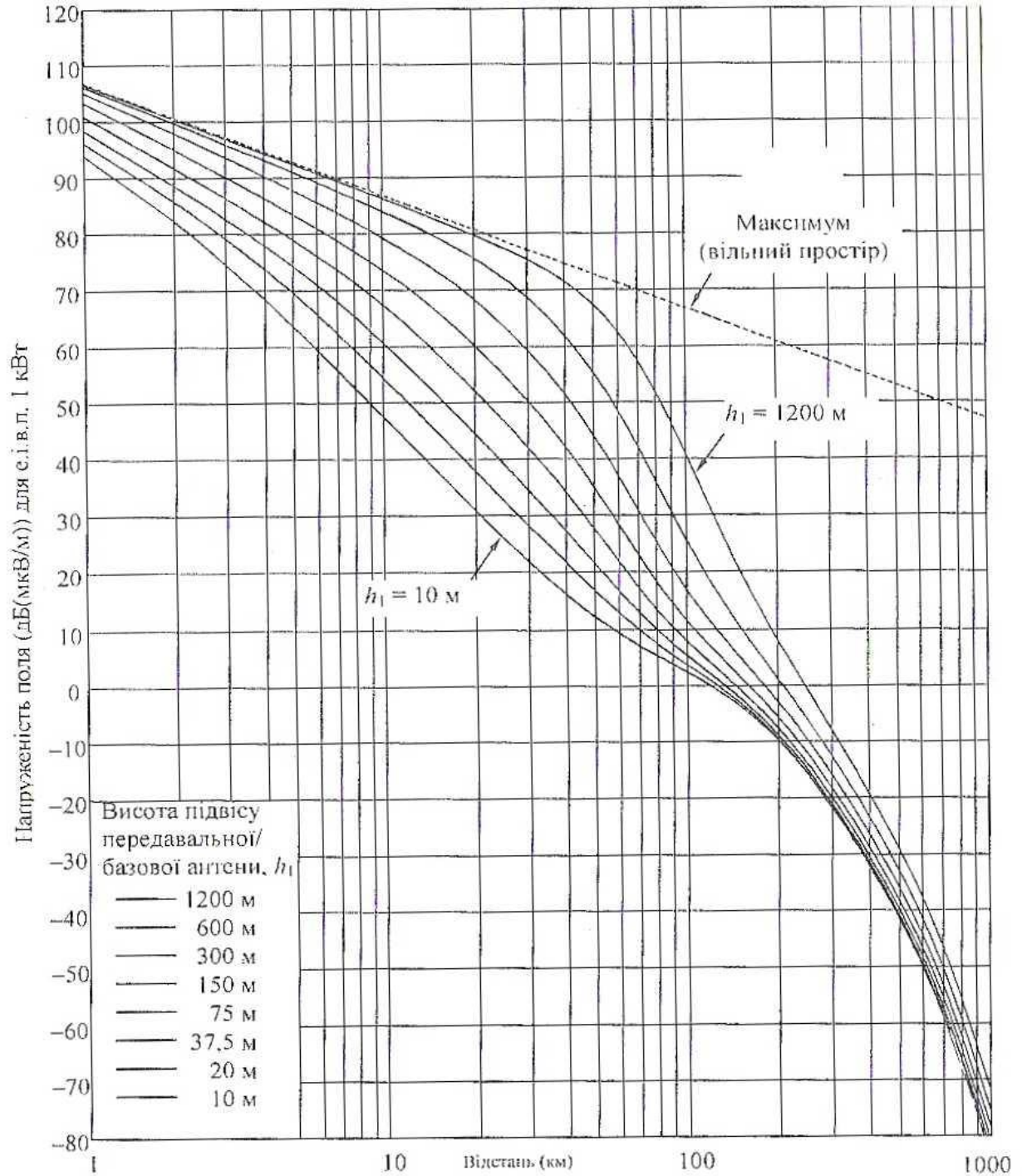


Рис. 10.12. Крива поширення для частоти 2000 МГц (сухопутна траса, 50 % часу)

Для сухопутних трас для частоти  $f$  необхідна напруженість електромагнітного поля  $E$  розраховується за формулою

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad (10.2)$$

де  $E_{inf}$  – значення напруженості електромагнітного поля для частоти  $f_{inf}$ ;  
 $E_{sup}$  – значення напруженості електромагнітного поля для частоти  $f_{sup}$ ;  
 $f_{inf}$  – значення нижньої номінальної частоти (дорівнює 100 МГц при значенні частоти  $f$  менше 600 МГц, в іншому випадку – 600 МГц);  
 $f_{sup}$  – значення верхньої номінальної частоти (дорівнює 600 МГц при значенні частоти  $f$  менше 600 МГц, в іншому випадку – 2000 МГц).

Крім того, програма дозволяє враховувати при розрахунках значення напруженості електромагнітного поля для *e.i.v.n.* відмінних від номінального значення (1 кВт), вплив висоти підвісу приймальної антени стаціонарної станції радіомоніторингу та інших чинників.

8. За результатами розрахунків визначаються елементарні майданчики, значення напруженості електромагнітного поля на яких дорівнюють пороговим значенням  $E_{thr}$  для різних режимів роботи комплексу радіомоніторингу, а саме:

- $E_{thr} = E_{min} + 2 \text{ дБ (мкВ/м)}$  для режиму пеленгування сигналів;
- $E_{thr} = E_{min} + 40 \text{ дБ (мкВ/м)}$  для режиму вимірювання основних параметрів сигналів;
- $E_{thr} = E_{min} + 46 \text{ дБ (мкВ/м)}$  для режиму вимірювання деяких додаткових параметрів сигналів;
- $E_{min}$  – мінімальна напруженість електромагнітного поля, яка забезпечує виявлення сигналів для певного комплексу радіомоніторингу.

За зону радіодоступності РКП приймається область простору, що обмежена пороговими значеннями  $E_{thr}$ .



## Додаток А

## Значення ширини контрольної смуги частот для певних класів

Таблиця А.1

Призначення радіостанції, радіопередавача	Клас радіови- промінювання	Ширина кон- трольної сму- ги частот, кГц
Станції монофонічного радіомовлення (діапазон частот від 65,9 МГц до 74 МГц)	<i>130KF3EGN</i>	149,500
Станції стереофонічного радіомовлення (діапазон частот від 65,9 МГц до 74 МГц і від 100 МГц до 108 МГц)	<i>156KF8EHN</i> <i>180KF3EHN</i>	179,400 248,400
Станції стереофонічного радіомовлення з пілот-тоном (діапазон частот від 100 МГц до 108 МГц)	<i>220KF3EHN</i> <i>300KF8EHF</i>	300,000 414,000
Передавачі стільникових мереж зв'язку стандарту D-AMPS	<i>40KOG7W</i>	56,600
Передавачі стільникових мереж зв'язку стандарту GSM-900	<i>200KG7W</i>	280,000
	<i>200KG7AB</i>	280,000
	<i>200KF7CD</i>	240,000
	<i>271KG7W</i>	379,400
Передавачі стільникових мереж зв'язку стандарту DCS-1800	<i>271 KG7W</i>	379,400
	<i>200KG7D</i>	280,000
	<i>200KG7ED</i>	280,000
Передавачі наземних базових станцій ме- режі телефонного радіозв'язку з фіксова- ним абонентським радіодоступом стан- дарту IS-95 (CDMA)	<i>1M25G1D</i>	1750,000
	<i>1M23G4D</i>	1722,000
Передавачі наземних радіостанцій мережі пошукового (пейджингового) радіозв'язку загального користування протоколів POCSAG, FLEX, ERMES	<i>16K0F1D</i>	19,680
	<i>16K0F9D</i>	18,880
Передавачі наземних радіостанцій мережі транкінгового радіозв'язку загального (відомчого) користування стандартів Алтай, SmartTrunk, Smart Net, MPT 1327	<i>16K0G3E</i>	22,400
	<i>16K0F3E</i>	16,000
	<i>25K0J7W</i>	28,750
Передавачі наземних радіостанцій ме- режі передавання даних	<i>8K50F1D</i>	10,455
	<i>12K00F1DAN</i>	14,760
	<i>12K50F1DAN</i>	15,375
Передавачі наземних радіостанцій ме- режі передавання даних із використан- ням широкосмугового доступу	<i>1M00G1D</i>	1400,000
	<i>1M08G1D</i>	1512,000
	<i>1M0F1D</i>	1230,000
	<i>2M0G1DF</i>	2800,000
	<i>5M12G1D</i>	7168,000



## Додаток Б

Перелік основних нормативних документів і рекомендацій, що визначають загальні й технічні вимоги до характеристик і електричних параметрів РЕЗ та методи їх контролю

ДСТУ 2465-94 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги і методи **випробувань**

ДСТУ 2626-94 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до імпульсного магнітного поля. Технічні вимоги і методи випробувань

ДСТУ 2793-94 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до потужних електромагнітних завад. Загальні положення

ДСТУ 3837-99 Телебачення мовне. Системи аналогового телебачення звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань

ДСТУ 3937-97 Системи передавання радіорелейні прямої видимості.

Класифікація. Основні параметри. Методи вимірювань

ДСТУ 4053-2001 Система стереофонічного звукового мовлення з пілот-тоном. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання

ДСТУ 4113-2001 Апаратура оброблення інформації. Вимоги безпеки та методи вимірювань (IEC 60 950:1999, MOD)

ДСТУ 4162-2003 Станції супутникової системи зв'язку земні. Класифікація. Основні параметри та методи вимірювання (ETSI EN 301443 V 1.2.1:2001, NEQ)

ДСТУ 4184-2003 Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання

ДСТУ 4196-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 1. Характеристики системи. Методи вимірювання

(IEC 60728-1:2001, MOD) ДСТУ 4197-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 2.

Вимоги електромагнітної сумісності обладнання (IEC 60728-2:2002, MOD) ДСТУ 4198-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби.

Кабельні розподільчі системи. Частина 3. Активне обладнання широкосмугових систем на основі коаксіального кабелю. Загальні технічні вимоги. Методи

вимірювання (IEC 60728-3:2000, MOD) ДСТУ 4200-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи.

Частина 5. Обладнання головних станцій. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання (IEC 60728-5:2001, MOD)

ДСТУ 4202-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 9. Інтерфейси кабельних розподільчих систем з цифровою модуляцією. Загальні технічні вимоги (IEC 60728-9:2000, MOD)

ДСТУ 4203-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 10.

## ДОДАТОК Б

Характеристики системи- зворотного каналу. Методи вимірювання (IEC 60728-10:2001, MOD)

ДСТУ 4205-2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 12. Вимоги електромагнітної сумісності систем (IEC 60728-12:2001, MOD) ДСТУ 4213-2003 Телебачення мовленнєве. Система цифрового звукового супроводу аналогового телебачення. Загальні технічні вимоги (EN 300 163:1998, MOD)

ДСТУ 4214-2003 Цифрове телевізійне мовлення. Структура кадрів, кодування каналу та методи модуляції в кабельних розподільчих системах. Загальні технічні вимоги (EN 300429:1998, MOD)

ДСТУ 4215-2003 Цифрове телевізійне мовлення. Передавання інформації телетексту в цифрових потоках DVB. Загальні технічні вимоги (EN 300 472:1996, MOD)

ДСТУ 4470:2005 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Основні положення ДСТУ 4510:2005 Станції супутникової системи зв'язку земні діапазону 11/12/14 ГГц. Технічні вимоги та методи випробування (ETSI EN 301 428:2001, MOD)

ДСТУ 4755:2007 Обладнання радіопередавальне. Вимоги щодо безпеки ДСТУ ГОСТ 30784:2005 Апаратура радіорелейна. Класифікація. Основні параметри кіл стику (ГОСТ 30784-2001, IDT)

ДСТУ ГОСТ 30428:2004 Сумісність технічних засобів електромагнітна, Радіозавади індустрийні від апаратури проводового зв'язку. Норми та методи випробування (ГОСТ 30428-96, IDT)

ДСТУ CISPR 22:2007 Обладнання інформаційних технологій. Характеристики радіозавад. Норми і методи вимірювання (CISPR 22:2006, IDT)

ДСТУ IEC 60 870-2-1-2003 Системи та обладнання дистанційного керування. Частина 2. Умови експлуатації. Розділ 1. Джерело живлення та електромагнітна сумісність (IEC 60 870-2-1:1995, IDT)

ДСТУ IEC 60 870-3:2005 Пристрої та системи телемеханіки. Частина 3. Інтерфейси (електричні характеристики) (IEC 60 870-3:1989, IDT) ДСТУ IEC 60 870-4:2005 Пристрої та системи телемеханіки. Частина 4. Вимоги до робочих характеристик (IEC 60 870-4:1990, IDT) ДСТУ EN 50 360:2007 Обладнання систем стільникового радіозв'язку абонентське. Вимоги щодо **впливу** на організм людини електромагнітних полів діапазону частот від 300 МГц до 3 ГГц (EN 50 360:2001, IDT) ДСТУ EN 50 385:2007 Обладнання систем безпроводового доступу базове. **Вимоги щодо** впливу на організм людини електромагнітних полів діапазону частот від 110 МГц до 40 ГГц (EN 50 385:2002, IDT) ДСТУ EN 55 013:2004 Електромагнітна сумісність. Норми та методи вимірювання характеристик радіозавад приймальних пристроїв та підключеного до них обладнання (EN 55 013:1997, IDT)

## ДОДАТОК Б

ДСТУ EN 300 421:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Структура кадру, кодування каналу і методи модуляції у супутникових службах частотного діапазону 11/12 ГГц. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 300 421:1997, IDT) ДСТУ EN 300 468:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Службова інформація у системах DVB. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 300 468:2004, IDT) ДСТУ EN 300 473:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Системи розподілу сигналів супутникового телебачення з прийманням на колективну антену. Загальні вимоги (EN 300 473:1997, IDT)

ДСТУ EN 300 744:2004 Цифрове телевізійне мовлення. **Структура кадрів**, каналне кодування та методи модуляції в системі цифрового наземного телебачення. Загальні технічні вимоги

ДСТУ EN 300748:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Багатоточкові телевізійні розподільчі системи діапазону частот 10 ГГц і вище. Загальні технічні вимоги (EN 300 748:1997, IDT)

ДСТУ EN 300749:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Системи розподільчі мікрохвильові багатоточкові (MMDS) у частотному діапазоні нижче 10 ГГц.

Загальні технічні вимоги (EN 300 749:1997, IDT)

ДСТУ ENV 50 204-2003 Електромагнітна сумісність. Електромагнітні поля випромінювання від цифрових радіотелефонів. Випробування та несприйнятливість (ENV 50204:1995, IDT)

ДСТУ ETSI EN 200 800:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Інтерактивний канал кабельних телевізійних розподільчих систем CATV. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 20 800:1999, IDT)

ДСТУ ETSI EN 301 199:2006 Цифрове телевізійне мовлення. Інтерактивний канал локальних багатоточкових розподільчих систем. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 301 199:1999, IDT)

ДСТУ ETSI EN 30S 502:2007 Обладнання систем стільникового радіозв'язку стандарту GSM базове. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 301 502:2001, IDT)

ДСТУ ETSI EN 301 511:2007 Обладнання систем стільникового радіозв'язку стандарту GSM абонентське. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 301 511:2003, IDT)

ДСТУ ETSI EN 302 2%;200X Цифрове телевізійне мовлення. Електромагнітна сумісність і радіочастотний спектр. Радіопередавальне обладнання служби цифрового телевізійного наземного ефірного мовлення. Загальні технічні вимоги (ETSI EN 302 296:2005, IDT)

ДСТУ ETSI TR 101 190:200X Цифрове телевізійне мовлення. Принципи побудови розподільчих систем наземного ефірного цифрового телевізійного мовлення (ETSI TR 101 190:2004, IDT)

ДСТУ ETSI TR 101 290:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Характеристики систем передавання. Настанови щодо вимірювання (ETSI TR 101 290:2001, IDT)

ДСТУ ETSI TS 151 010-1:2006 Обладнання систем стільникового радіозв'язку стандарту GSM абонентське. Основні параметри та методи вимірювання (ETSI TS 151 010-1:2002, IDT)

## ДОДАТОК Б

**ДСТУ ETSI TS 101 087:2006 Обладнання систем стільникового радіозв'язку стандарту GSM базове. Основні параметри та методи вимірювання (ETSI TS 101 087:2005, IDT)**

**ГСТУ 45.001-97 Приймальні та приймально-передавальні земні станції мережі малих станцій супутникового зв'язку діапазону 11/12/14 ГГц. Основні вимоги до радіочастотного обладнання**

**ГСТУ 45.002-97 Цифрові канали і тракти передачі фіксованої супутникової служби. Основні параметри**

**ГСТУ 45.023-2001 Цифрові мережі телекомунікації Фізичні і електричні характеристики інтерфейсів**

**ГОСТ 12.1.006-87 Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля**

**ГОСТ 12.3.019-80 ССБТ. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности**

**ГОСТ 11216-83 Сети распределительные приемных систем телевидения и радиовещания. Основные параметры, технические требования, методы измерений и испытаний**

**ГОСТ 11289-80 Антенны телевизионные приемные. Типы, основные параметры, общие технические требования**

**ГОСТ 18471-83 Тракт передачи изображения вещательного телевидения. Звенья тракта и измерительные сигналы**

**ГОСТ 11515-91 Каналы и тракты звукового вещания. Основные параметры, технические требования и методы измерений**

**ГОСТ 13420-79 Передатчики для магистральной радиосвязи. Основные параметры, технические требования и методы измерений**

**ГОСТ 13924-80 Передатчики радиовещательные стационарные. Основные параметры, технические требования и методы измерений**

**ГОСТ 14663-83 Приемники магистральной радиосвязи гектометрового -декаметрового диапазона волн. Параметры, общие технические требования и методы измерений**

**ГОСТ 16600-72 Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений**

**ГОСТ 18633-80 Система стереофонического вещания. Основные параметры**

**ГОСТ 19463-89 Магистральные каналы изображения радиорелейных и спутниковых систем передачи. Основные параметры и методы измерений**

**ГОСТ 19871-83 Каналы изображения аппаратно-студийного комплекса и передвижной телевизионной станции вещательного телевидения. Основные параметры и методы измерений**

**ГОСТ 20532-83 Радиопередатчики телевизионные I-V диапазонов. Основные параметры, технические требования и методы измерений**

**ГОСТ 21655-87 Каналы и тракты магистральной первичной сети единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерений**

## ДОДАТОК Б

ГОСТ 22579-86 Радиостанции с однополосной модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений

ГОСТ 22580-84 Радиостанции с угловой модуляцией морской подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений

ГОСТ 23511-79 Радиопомехи промышленные от электротехнических устройств, эксплуатируемых в жилых домах или подключаемых к их электрическим сетям. Нормы и методы измерений

ГОСТ 25792-85 Приемники морской подвижной службы. Параметры, общие технические требования и методы измерений

ГОСТ 26320-84 Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений  
ГОСТ 26886-86 Стыки цифровых каналов передачи и групповых трактов первичной сети ЕАСС. Основные параметры

ГОСТ 26897-86 Радиостанции с однополосной модуляцией морской подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений

ГОСТ 28324-89 Сети распределительные приемных систем телевидения и радиовещания. Классификация приемных систем, основные параметры и технические требования

ГОСТ 29191-91 (МЭК 801-2-91) СТСЭ. Устойчивость к электростатическим разрядам. Технические требования и методы испытаний  
ГОСТ 29280-92 (МЭК 1000-4-91) СТСЭ. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения

ГОСТ 30318-95 СТСЭ. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля  
ГОСТ 30320-95 СТСЭ. Радиопомехи промышленные от устройств, содержащих источники кратковременных радиопомех. Нормы и методы испытаний  
ГОСТ 30338-95 СТСЭ. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерений и контроля

ГОСТ 30429-96 СТСЭ. Радиопомехи промышленные от оборудования и аппаратуры, устанавливаемых совместно со служебными радиоприемными устройствами гражданского назначения. Нормы и методы испытаний  
Нормы 8-72 Общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех. Электроустройства эксплуатируемые вне жилых домов и не связанные с их электрическими сетями. Предприятия (объекты) и выделенных территориях или в отдельных зданиях. Допускаемые величины. Методы испытаний. ГКРЧ СССР  
Нормы 18-85 Общесоюзные нормы на побочные излучения радиопередающих устройств гражданского назначения. ГКРЧ СССР  
Нормы 19-86 Общесоюзные нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения. ГКРЧ СССР

## ДОДАТОК Б

CENELEC EN 60215:1989 Safety requirements for radio transmitting equipment. Amendment A 1:1992 to EN 60215:1989, Amendment A2:1994 to EN 60215:1989 EN 55 022 Information technology equipment Radio disturbance characteristics, Limits and methods of measurements

EN 50 083-1 Cabled distribution systems for television and sound signals Part 1, Safety requirements

EN 50 083-2 Cabled distribution systems for television and sound signals. Part 2. Electromagnetic compatibility for equipment

EN 50 083-5 Cabled distribution systems for television and sound signals Part 5. Headend equipment

EN 50083-6 Cabled distribution systems for television and sound signals Part 6, Optical equipment

EN 50 083-7 Cabled distribution systems for television and sound signals Part 7. System performance

EN 61 000-4-2 Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 2: Electrostatic Discharge Immunity Test-Basic EMC publication

EN 300 086-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment with an internal or external RF connector intended primarily for analogue speech; Part 1: Technical characteristics and test conditions

EN 300 086-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment with an internal or external RF connector intended primarily for analogue speech; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 300 113-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land mobile service; Radio equipment intended for the transmission of data (and/or speech) using constant or non-constant envelope modulation and having an antenna connector; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 113-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land mobile service; Radio equipment intended for the transmission of data (and/or speech) using constant or non-constant envelope modulation and having an antenna connector; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 300 135-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Angle-modulated Citizens Band radio equipment (CEPT PR 27 Radio Equipment); Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 135-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Angle-modulated Citizens Band radio equipment (CEPT PR 27 Radio Equipment); Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of 1999/5/EC Directive

EN 300 162-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radiotelephone transmitters and receivers for the maritime mobile service

## ДОДАТОК Б

operating in VHF bands; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 162-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radiotelephone transmitters and receivers for the maritime mobile service operating in VHF bands; part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 300 162-3 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radiotelephone transmitters and receivers for the maritime mobile service operating in VHF bands; Part 3: Harmonized EN covering essential requirements of article 3.3e of the 1999/5/EC Directive

EN 300175-1 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 1; Overview

EN 300 175-2 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 2: Physical layer (PHL)

EN 300 175-3 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 3: Medium Access Control (MAC) layer EN 300 175-5 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 5: Network (NWK) layer

EN 300 175-6 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 6; Identities and addressing

EN 300 175-8 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 8: Speech coding and transmission

EN 300176-1 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification; Part 1: Radio

EN 300197 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Parameters for radio systems for the transmission of digital signals operating at 38 GHz

EN 300198 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Parameters for radio systems for the transmission of digital signals operating at 23 GHz

EN 300 219-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment transmitting signals to initiate a **specific** response in- the receiver; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 219-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment **transmitting** signals to **initiate** a specific response in the receiver; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 300 220-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio **equipment to be** used in the 25 MHz to 1000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods

EN 300 220-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 2;

## ДОДАТОК Б

Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TRB | Directive

EN 300 224-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); On-site paging service; Part 1: Technical and functional characteristics, including test methods

EN 300 224-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); On-site paging service; Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 300234 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; High capacity DRRS carrying lxSTM-I signals and operating in frequency bands with about 30 MHz channel spacing and alternated arrangements

EN 300 296-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment using integral antennas intended primarily for analogue speech; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement EN 300 296-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment using integral antennas intended primarily for analogue speech; Part 2: Harmonised EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

**EN 300 328-1** Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Wideband Transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques; Part 1: Technical characteristics and test conditions

EN 300 328-2 Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Wideband Transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques; Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive EN 300 330-S Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment in the frequency range 9 kHz to 25 MHz and inductive loop systems in the frequency range 9 kHz to 30 MHz; Part 1: Technical characteristics and test methods

EN 300330-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment in the frequency range 9 kHz to 25 MHz and inductive loop systems in the frequency range 9 kHz to 30 MHz; Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive EN 300 341-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile service (RP 02); Radio equipment using an integral antenna transmitting-signals to initiate a specific response in the receiver; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 341-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile service (RP 02); Radio equipment using an integral antenna transmitting signals to initiate a specific response in the receiver; Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive EN 300390-1 Electromagnetic compatibility and Radio **spectrum Matters** (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment intended for the transmission of data (and



## ДОДАТОК Б

speech) and using an integral antenna; Part 1: Technical characteristics and test conditions  
EN 300 390-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Radio equipment intended for the transmission of data (and speech) and using an integral antenna; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive  
EN 300 407 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Parameters for digital radio systems for the transmission of digital signals operating at 55 GHz  
EN 300 408 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Parameters for digital radio systems for the transmission of digital signals and analogue video signals operating at around 58 GHz, which do not require coordinated frequency planning  
EN 300 422 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Technical characteristics and test methods for wireless microphones in the 25 MHz to 3 GHz frequency range

EN 300 430 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Parameters for radio systems for the transmission of STM-1 digital signals operating in the 18 GHz frequency band with channel spacing of 55 MHz and 27,5 MHz  
EN 300 431 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Parameters for radio system for the transmission of digital signals operating in the frequency range 24,50 GHz to 29,50 GHz

EN 300 433-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Double Side Band (DSB) and/or Single Side Band (SSB) Amplitude modulated Citizen's Band radio Equipment; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 433-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);

Land Mobile Service; Double Side Band (DSB) and/or Single Side Band (SSB)

Amplitude modulated Citizen's Band radio Equipment; Part 2: Harmonized EN

covering essential requirements under Article 3,2 of 1999/5/EC Directive

EN 300 440-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);

Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz

frequency range; Part 1: Technical characteristics and test methods)

EN 300 440-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);

Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz

frequency range; Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC

Directive

EN 300 447 Radio equipment and systems (RES); Electromagnetic compatibility (EMC) standard for VHF FM broadcasting transmitters

EN 300 607-1 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station (MS) conformance specification; Part I: Conformance specification (GSM 11.10)

EN 300 631-1 Fixed Radio Systems; Point-to-Point Antennas; Antennas for Point-to-Point fixed radio systems in the 1 GHz to 3 GHz band

## ДОДАТОК Б

EN 300 639 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Sub-STM-I digital radio systems operating in the 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz frequency bands with about 28 MHz co-polar and 14 MHz cross-polar channel spacing EN 300 673 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for Very Small Aperture Terminal (VSAT), Satellite News Gathering (SNG), Satellite Interactive Terminals (SIT) and Satellite User Terminals (SUT) Earth Stations operated in the frequency ranges between 4 GHz and 30 GHz in the Fixed Satellite Service (FSS) EN 300 761-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Automatic Vehicle Identification (AVI) for railways operating in the 2,45 GHz frequency range; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 300 761-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Automatic Vehicle Identification (AVI) for railways operating in the 2,45 GHz frequency range; Part 2: Harmonized standard covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive EN 300 786 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Sub-STM-1 digital radio systems operating in the 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz frequency bands with about 14 MHz co-polar channel spacing

EN 300 827 Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Electromagnetic compatibility (EMC) standard for terrestrial trunked radio (TETRA) and ancillary equipment

EN 301 021 Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Time division Multiple access (TDMA); Point-to-Multipoint digital radio systems bands in the range 3 GHz to 11 GHz

EN 301 025-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); VHF radiotelephone equipment for general communications and associated equipment for Class "D" Digital Selective Calling (DSC); Part 1: Technical characteristics and methods of measurement

EN 301 025-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); VHF radiotelephone equipment for general communications and associated equipment for Class "D" Digital Selective Calling (DSC); Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 025-3 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); VHF radiotelephone equipment for general communications and associated equipment for Class "D" Digital Selective Calling (DSC); Part 3: Harmonized EN under Article 3.3e of the 1999/5/EC Directive

EN 301 087 Digital cellular telecommunications system (Phase 2 & Phase 2+) (GSM); Base Station System (BSS) equipment specification; Radio aspects. (GSM I 1.21 version 8.2.1 Release 1999)

EN 301 124 Transmission and Multiplexing (TM); Digital Radio Relay Systems (DRRS); Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-SS) point-to-multipoint DRRS in frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz

## ДОДАТОК Б

EN 301 128 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH); Low and medium capacity digital radio systems operating in the 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz frequency bands EN 301 178-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Portable Very High Frequency (VHF) radiotelephone equipment for the maritime mobile service operating in the VHF bands (for non-GMDSS applications only); Part 1: Technical characteristics and methods of measurement EN 301 178-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Portable Very High Frequency (VHF) radiotelephone equipment for the maritime mobile service operating in the VHF bands (for non-GMDSS applications only); Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive EN 301 213-1 Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 24,25 GHz to 29,5 GHz using different access methods; Part 1: Basic parameters EN 301 213-2 Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 24,25 GHz to 29,5 GHz using different access methods; Part 2: Frequency Division Multiple Access (FDMA) methods EN 301213-3 Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 24,25 GHz to 29,5 GHz using different access methods; Part 3: Time Division Multiple Access (TDMA) methods EN 301 213-4 Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 24,25 GHz to 29,5 GHz using different access methods; Part 4: Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-SS) methods EN 301 213-5 Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 24,25 GHz to 29,5 GHz using different access methods; Part 5: Multi-Carrier Time Division Multiple Access (MC-TDMA) methods EN 301216 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH); Low and medium capacity and STM-0 digital radio system operating in the frequency bands in the range 3 to 11 GHz EN301 357-2 V1.2.1 (06-2001) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Cordless audio devices in the range 25 MHz to 2000 MHz; Consumer radio microphones and in-ear monitoring systems operating in the CEPT harmonized band 863 MHz to 865 MHz; Part 2: Harmonized EN under article 3.2 of the R&TTE EN 301 359 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Satellite Interactive Terminals (SIT) using satellites in geostationary orbit operating in the 11 GHz to 12 GHz (space-to-earth) and 29,5 GHz to 30,0 GHz (earth-to-space) frequency bands

## ДОДАТОК Б

EN 301 387 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH); Low and medium capacity digital radio systems operating in the frequency band 48,5 GHz to 50,2 GHz

EN 301 406 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Harmonized EN for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive; Generic radio

EN 301 419-1 Digital cellular telecommunications system (Phase 2); Attachment requirements for Global System for Mobile communications (GSM); Part 1: Mobile stations in the GSM 900 and DCS 1800 bands; Access (GSM 13.01 v. 4.0.1)

EN 301 419-2 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Attachment requirements for Global System for Mobile communications (GSM); High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) Multislot Mobile Stations; Access EN 301 419-3 Digital cellular telecommunications system (Phase 2-i); Attachment requirements for Global System for Mobile communications (GSM); Advanced Speech Call items (ASCI); Mobile Stations; Access (GSM 13.68 version 5.0.2 Release 1996)

EN 301 419-7 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Attachment requirements for Global System for Mobile communications (GSM); Railways Band (R-GSM); Mobile Stations; Access (GSM 13.67 version 5.0.2)

EN 301 426 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonised EN for Low data rate Land Mobile satellite Earth Stations (LMES) operating in the 1,5/1,6 GHz

frequency bands covering essential requirements under Article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 427 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Low data rate Land Mobile satellite Earth Stations (LMES) operating in the 11/12/14 GHz frequency bands covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 430 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Satellite News Gathering Transportable Earth Stations (SNG TES) operating in the 11-12/13-14 GHz frequency bands covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 441 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Mobile Earth Stations (MESs), including handheld earth stations, for Satellite Personal Communications Networks (SPCN) in the 1,6/2,4 GHz bands under the Mobile Satellite Service (MSS) covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 442 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Mobile Earth Stations (MESs), including handheld earth stations, for Satellite Personal Communications Networks (SPCN) in the 2,0 GHz bands under the Mobile Satellite Service (MSS) covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

## ДОДАТОК Б

EN 301 444 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Land Mobile Earth Stations (LMES) operating in the 1,5 GHz and 1,6 GHz bands providing voice and/or data communications covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 449 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Harmonized EN for CDMA spread spectrum base stations operating in the 450 MHz cellular band (CDMA 450) and 410, 450 and 870 MHz PAMR bands (CDMA-PAMR) covering essential requirements of article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 459 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Satellite Interactive Terminals (SIT) and Satellite User Terminals (SUT) transmitting towards satellites in

geostationary orbit in the 29,5 to 30,0 GHz frequency bands covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive EN 301461 Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; High capacity fixed radio systems carrying SDH signals (2xSTM-1) in frequency bands with 40 MHz channel spacing and using Co-channel Dual Polarized (CCDP) operation

EN 301 489-02 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);

ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 2:

Specific conditions for radio paging equipment EN 301 489-03 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 3: Specific conditions for Short-Range Devices (SRD) operating on frequencies between 9 kHz and 40 GHz

EN301 489-04 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 4: Specific conditions for fixed radio links and ancillary equipment and services

EN 301 489-06 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 6: Specific conditions for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) equipment

EN 301 489-07 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 7: Specific conditions for mobile and portable radio and ancillary equipment of digital cellular radio telecommunications systems (GSM and DCS) EN 301 489-08 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Com patibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 8: Specific conditions for GSM base stations

EN 301 489-09 ElectroMagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 9: Specific conditions for wireless microphones and similar Radio Frequency (RF) audio link equipment

EN 301 489-10 ElectroMagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and

## ДОДАТОК Б

services; Part 10: Specific conditions for First (CT1 and CTH-) and Second Generation Cordless Telephone (CT2) equipment

EN 301 489-11 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 11: Specific conditions for terrestrial sound broadcasting service transmitters

EN 301 489-14 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 14: Specific conditions for analogue and digital terrestrial TV broadcasting service transmitters

EN 301 489-15 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 15: Specific conditions for commercially available amateur radio equipment

EN 301 489-16 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 16: Specific conditions for analogue cellular radio communications equipment, mobile and portable

EN 301 489-17 Electromagnetic compatibility and Radio *spectrum* Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 17: Specific conditions for Wideband data and HIPERLAN equipment

EN 301 489-18 ElectroMagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 18: Specific conditions for Terrestrial Trunked Radio (TETRA) equipment

EN 301 489-19 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 19: Specific conditions for Receive Only Mobile Earth Stations (ROMES) operating in the 1,5 GHz band providing data communication EN 301489-20 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 20: Specific conditions for Mobile Earth Stations (MES) used in the Mobile Satellite Services (MSS)

EN 301 489-23 Electro-magnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Electro-magnetic Compatibility (EMC) *standard* for radio equipment and services; Part 23: Specific conditions for 1MT- 2000 CDMA Direct Spread (UTRA) Base Station (BS) radio, repeater and ancillary equipment (Електромагнітна сумісність і питання використання радіоспектра. EN 30 1 489-24 Electro-magnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Electro-magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 24: Specific conditions for IMT-2000 CDMA Direct Spread (UTRA) for Mobile and portable (UE) radio and ancillary equipment

## ДОДАТОК Б

EN 301 489-25 Electro-magnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Electro-magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 25: Specific conditions for CDMA 1x spread spectrum Mobile Stations and ancillary equipment

EN 301 489-26 Electro-magnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Electro-magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 26: Specific conditions for CDMA 1x spread spectrum Base Stations, repeaters and ancillary equipment

EN 301 489-28 Electro-magnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Electro-magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 28: Specific conditions for wireless digital video links

EN 301 681 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Mobile Earth Stations (MESs) of Geostationary mobile satellite systems, including handheld earth stations, for Satellite Personal Communications Networks (SPCN) in the 1,5/1,6 GHz bands under the Mobile Satellite Service (MSS) covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 688 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Technical characteristics and methods of measurement for fixed and portable VHF equipment operating on 121,5 MHz and 123,1 MHz

EN 301 701 Digital Video Broadcasting (DVB); OFDM modulation for microwave digital terrestrial television

EN 301 721 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Mobile Earth Stations (MES) providing Low Bit Rate Data Communications (LBRDC) using Low Earth Orbiting (LEO) satellites operating below 1 GHz covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 751 Fixed Radio Systems; Point-to-Point equipments and antennas; Generic harmonized standard for Point-to-Point digital fixed radio systems and antennas covering the essential requirements under Article 3.2 of the 1999/05/EC Directive

EN 301 753 Fixed Radio Systems; Point-to-Multipoint equipments and antennas; Generic harmonized standard for Point-to-Multipoint digital fixed radio systems and antennas covering the essential requirements under Article 3.2 of the Directive \*  
1999/5/EC ISO/IEC 13818

EN 301 783-1 Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Commercially available amateur radio equipment; Part f: Technical characteristics and methods of measurement

EN 301 783-2 Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Land Mobile Service; Commercially available amateur radio equipment; Part 2: *Harmonized* EN covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 796 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Harmonized EN for CT1 and CT1+ cordless telephone equipment covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

## ДОДАТОК Б

EN 301 797 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Harmonized EN for CT2 cordless telephone equipment covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive

EN 301 908-1 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 1: Harmonised EN for IMT-2000, introduction and common requirements, covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-2 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 2: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA Direct Spread (UTRA FDD) (UE) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-3 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 3: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA Direct Spread (UTRA FDD) (BS) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive .

EN 301 908-4 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 4: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA Multi-Carrier (cdma2000) (UE) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-5 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 5: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA Multi-Carrier (cdma2000) (BS and Repeaters) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-6 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 6: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA TDD

(UTRA TDD) (UE) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-7 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 7: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA TDD (UTRA TDD) (BS) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-9 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS) and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 9: Harmonised EN for IMT-2000, TDMA Single-Carrier (UWC 136) (BS) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive



## ДОДАТОК Б

EN 301 908-10 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular networks; Part 10: Harmonised EN for IMT-2000, FDMA/TDMA (DECT) covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 908-11 Electro-magnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Base Stations (BS), Repeaters and User Equipment (UE) for IMT-2000 Third-Generation cellular Networks; Part 11: Harmonised EN for IMT-2000, CDMA Direct Spread (UTRA FDD) (Repeaters) covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 301 997-1 Transmission and Multiplexing (TM); Multipoint equipment; Radio equipment for use in Multimedia Wireless Systems (MWS) in the frequency band 40,5 GHz to 43,5 GHz; Part 1: General requirements

EN 301 997-2 Transmission and Multiplexing (TM); Multipoint equipment; Radio equipment for use in Multimedia Wireless Systems (MWS) in the frequency band 40,5 GHz to 43,5 GHz; Part 2: Harmonised EN covering essential requirements under Article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 302 017-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Amplitude Modulated (AM) sound broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods

EN 302 017-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Amplitude Modulated (AM) sound broadcasting service; Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive  
EN 302 018-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Frequency Modulated (FM) sound broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods

EN 302 018-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Frequency Modulated (FM) sound broadcasting service; Part 2: Harmonized EN under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive  
EN 302 077-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Terrestrial - Digital Audio Broadcasting (T-DAB) service; Part 1: Technical characteristics and test methods

EN 302 077-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Terrestrial - Digital Audio Broadcasting (T-DAB) service; Part 2: Harmonised EN covering essential requirements under Article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 302 217-2-2 Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point to point equipment and antennas; Part 2-2: Harmonised EN covering essential requirements of article 3.2 of R&TTE Directive for digital systems operating in frequency bands where frequency co-ordination is applied

EN 302 245-1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service. Part 1: Technical characteristics and test methods

## ДОДАТОК Б

EN 302 245-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service. Part 2: Harmonised EN covering essential requirements under Article 3.2 of the R&TTE Directive

EN302297 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matters (ERM); Transmitting equipment for analogue television broadcast service; Harmonised EN covering essential requirements under Article 3.2 of the R&TTE Directive

EN 302 326-1 Fixed Radio Systems; Multipoint Equipment and Antennas; Part 1: Overview and Requirements for Digital Multipoint Radio Systems

EN 302 326-2 Fixed Radio Systems; Multipoint Equipment and Antennas; Part 2: Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive for Digital Multipoint Radio Equipment

EN 302 326-3 Fixed Radio Systems; Multipoint Equipment and Antennas; Part 3: Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive for Multipoint Radio Antennas

EN 302 750 Radio broadcasting systems; Very High Frequency (VHF), frequency modulated, sound broadcasting transmitters in the 66 to 73 MHz band EN 303 035-1 Harmonized EN for TETRA equipment covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive; Part 1: Voice plus Data(V+D) EN 303 035-2 Harmonized EN for TETRA equipment covering essential requirements under Article 3.2 of the 1999/5/EC Directive; Part 2: Direct Mode Operation (DMO)

ERC/REC12-02 Harmonised radio frequency channel arrangements for analogue and digital terrestrial fixed systems operating in the band 12,75 GHz to 13,25 GHz

ERC/REC 12-03 Harmonised radio frequency channel arrangements for digital terrestrial fixed systems operating in the band 17,7 GHz to 19,7 GHz

ERC/REC 12-05 Harmonised radio frequency channel arrangements for digital terrestrial fixed systems operating in the band 10 GHz to 10,68 GHz

ERC/REC 12-06 Harmonised radio frequency channel arrangements for digital terrestrial fixed systems operating in the band 10,7 GHz to 11,7 GHz

ERC/REC 12-08 Harmonised radio frequency channel arrangements and block allocations for low, medium and high capacity systems in the band 3600 MHz to 4200 MHz

ERC/REC 112-09 Radio frequency arrangements for -fixed service systems operating in the band 57,0 - 57,0 GHz, which do not require frequency planning ERC/REC 12-10 *Harmonised* radio frequency arrangements for digital systems operating in the band 48,5 - 50,2 GHz

ERC/REC 14-01 Radio frequency channel arrangements for high capacity analogue and digital radio-relay systems operating in the band 5925 - 6425 MHz ERC/REC 14-02 Radio frequency channel arrangements for medium and high capacity analogue or high capacity digital radio-relay systems operating in the band 6425-7125 MHz

## ДОДАТОК Б

- ETS 300 086 Radio Equipment and Systems (RES) - Land mobile service - Technical characteristics and test conditions for radio equipment with an internal or external RF connector intended primarily for analogue speech
- ETS300 1 1 3 Radio Equipment and Systems (RES) - Land mobile service \* Technical characteristics and test conditions for radio equipment intended for the transmission of data (and speech) and having an antenna connector
- ETS3001S7 Satellite Earth Stations (SES); Receive-only Very Small Aperture Terminals (VSATs) operating in the 11/12 GHz frequency bands
- ETS300 159 Satellite Earth Stations (SES); Transmit-only or transmit-and-receive Very Small Aperture Terminals (VSATs) used for communications operating in the Fixed Satellite Service (FSS) 11/12/14 GHz frequency bands
- ETS300254 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Land Mobile Earth Stations (LMESs) operating in the 1,5/1,6 GHz bands providing Low Bit Rate Data Communications (LBRDCs)
- ETS300 255 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Land Mobile Earth Stations (LMESs) operating in the 11/12/14 GHz bands providing Low Bit Rate Data Communications (LBRDCs)
- ETS 300 327 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Satellite News Gathering (SNG) Transportable Earth Stations (TES) (13-14/11-12 GHz) ETS 300 329 Radio Equipment and Systems (RES); Electro-Magnetic Compatibility (EMC) for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) equipment
- ETS 300 332 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Transmit-only or transmit-and-receive Very Small Aperture Terminals (VSATs) used for communications operating in the Fixed Satellite Service (FSS) 6 GHz and 4 GHz frequency bands
- ETS 300 333 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Receive-only Very Small Aperture Terminals (VSATs) operating in the 4 GHz frequency band
- ETS 300 342\*2 Radio Equipment and Systems (RES); Electro Magnetic Compatibility (EMC) for European digital cellular telecommunications system (GSM 900 MHz and DCS 1 800 MHz); Part 2: Base station radio and ancillary equipment
- ETS 300 342-3 Radio Equipment and Systems (RES); Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Electro Magnetic Compatibility (EMC) for European digital cellular telecommunications system (GSM 900 MHz and DCS 1800 MHz); Part 3: Base station radio and ancillary equipment and repeaters meeting Phase 2 GSM requirements
- ETS 300 384 Radio broadcasting systems; Very High Frequency (VHF), frequency modulated, sound broadcasting transmitters
- ETS 300 423 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Land Mobile Earth Stations (LMESs) operating in the 1,5/1,6 GHz bands providing voice and/or data communications

## ДОДАТОК Б

ETS 300 456 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Test methods for Very Small Aperture Terminals (VSATs) operating in the 11/12/14 GHz frequency bands

ETS 300 683 Radio Equipment and Systems (RES); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for Short Range Devices (SRD) operating on frequencies between 9 kHz and 25 GHz

ETS 300 7J 9-1 Radio equipment and systems (RES); Private wide-area paging service; Part 1: Technical characteristics for private wide-area paging systems ETSI EN 300 339 Electromagnetic compatibility and radio spectrum (ERM); General electromagnetic compatibility (EMC) for radio communications equipment

ETSI EN 300 609-4 Digital cellular telecommunications system (Phase 2 and Phase 2+) (GSM); Base Station System (BSS) equipment specification; Part 4: Repeaters (GSM 11.26)

ETSI EN 301 489 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Electromagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services

ETSI EN 305 489-01 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements

ETSI EN 301 893 Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN; Harmonised EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

ETSI TS 102 250-2 Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation

ETSS TS 129 208 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); End-to-end Quality of Service (QoS) signaling flows

IEEE Std 802.11 -2007 Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications

IEEE Std 802.11a-1999 (R2003) Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. High-speed Physical Layer in the 5 GHz band

IEEE Std 802.11b (2003) Local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2,4 GHz band

IEEE Std 802.11g (2003) Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band

## ДОДАТОК Б

IEEE Std 802.15J (2005) Local and metropolitan area networks - specific requirement Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs). IEEE Std 802.15.4 (2006) Local and metropolitan area networks - specific requirement. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)

IEEE Std 802.16 (2004) IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems IEEE Std 802.16a-2003 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2; Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer. Specifications for 2-11 GHz

IEEE Std 802.16e-2005 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems.

Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1 J-STD-018 Recommended Minimum Performance Requirements for 1.8 to 2.0 GHz Code Division Multiple Access (CDMA) Personal Stations TBR 41 Satellite Personal Communications Networks (S-PCN); Mobile Earth Stations (MESs), including handheld earth stations, for S-PCN in the 1,6/2,4 GHz bands under the Mobile Satellite Service (MSS); Terminal essential requirements TBR 44 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Land Mobile Earth Stations (LMES) operating in the 1,5 GHz and 1,6 GHz bands providing voice and/or data communications

T/R 13-02 Preferred channel arrangements for fixed services in the range 22,0 - 29,5 GHz

TIA/EIA/IS-54-B Cellular System Dual-Mode Mobile Station - Base Station Compatibility Standard

TSA/EIA/IS-95-A Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System

TIA/EIA-95-B Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Spread Spectrum Systems

TIA/EIA/IS-2000.2-A Physical Layer Standard for cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems

TIA/EIA/IS-2000.2-A-1 Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Addendum 1

T1A/EIA-553-A Core Analog Standard 800 MHz Mobile Station - Land Station Compatibility Specification with Authentication

T1A/EIA-97-C Recommended Minimum Performance Standard for Base Stations Supporting Dual-Mode Spread Spectrum Cellular Mobile Stations TIA/EIA-98-C Recommended Minimum Performance. Standards for Dual-Mode Spread Spectrum Mobile Stations

## ДОДАТОК Б

TIA/EIA-IS/98-B Recommended Minimum Performance Standards for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Mobile Stations TIA/EIA/IS-136,1 800 MHz TDMA Cellular - Radio Interface - Mobile Station-Base Station Compatibility - Digital Control Channel

TIA/EIA/IS-136.2 800 MHz TDMA Cellular - Radio Interface - Mobile Station-Base Station Compatibility - Traffic Channels and FSK Control Channel TL4/EIA/5S-I37-A 800 MHz TDMA Cellular - Radio Interface - Minimum Performance Standard for Mobile Stations

TIA/EIA/IS-138-A 800 MHz TDMA Cellular Radio Interface. Minimum performance standards for base stations

TS 151 010 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station (MS) conformance specification; Part 1: Conformance specification (3GPP TS 51.010-1 version 5.5.0 Release 5)

TS 143 064 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Overall description of the GPRS radio interface; Stage 2 (3GPP TS 43.064 version 6.8.0 Release 6)

Recommendation ITU-R BS.450-3 Transmission standards for FM sound broadcasting at VHF

Recommendation ITU-R F.283 Radio-frequency channel arrangements for low and medium capacity analogue or digital radio-relay systems operating in the 2 GHz band

Recommendation ITU-R F.382 Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 2 and 4 GHz bands

Recommendation ITU-R F.383 Radio-frequency channel arrangements for high capacity radio-relay systems operating in the lower 6 GHz band

Recommendation ITU-R F.384 Radio-frequency channel arrangements for medium and high capacity digital fixed wireless systems operating in the upper 6 GHz band

Recommendation ITU-R F.385 Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 7 GHz band

Recommendation ITU-R F.386 Radio-frequency channel arrangements for medium and high capacity analogue or digital radio-relay systems operating in the 8 GHz band

Recommendation ITU-R F.387 Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 11 GHz band

Recommendation ITU-R F.404 Frequency deviation for analogue radio-relay systems for telephony using frequency-division multiplex

Recommendation ITU-R F.497 Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 13 GHz frequency band

Recommendation ITU-R F.595 Radio-frequency channel arrangements for fixed wireless systems operating in the 18 GHz frequency band

Recommendation ITU-R F.636 Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 15 GHz band

## ДОДАТОК Б

Recommendation ITU-R F.637 Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 23 GHz band

Recommendation STU-R F.749 Radio-frequency arrangements for systems of the fixed service operating in the 38 GHz band

Recommendation ITU-R F.1 092 Error performance objectives for constant bit rate digital paths at or above the primary rate carried by digital radio-relay systems which may form part of the international portion of a 27500 km hypothetical reference path

Recommendation ITU-R F.1 101 Characteristics of digital radio-relay systems below about 17 GHz

Recommendation ITU-R F.1 102 Characteristics of digital radio-relay systems operating in frequency bands above about 17 GHz

Recommendation ITU-R FJ189 Error performance objectives for constant bit rate digital paths at or above the primary rate carried by digital radio-relay systems which may form part or all of the national portion of a 27500 km hypothetical reference path

Recommendation ITU-R F.1 191 Bandwidths and unwanted emissions of digital fixed service systems

Recommendation ITU-R F.1488 Frequency block arrangements for fixed wireless access systems in the range 3400-3800 MHz

Recommendation ITU-R F.1496 Radio-frequency channel arrangements for fixed wireless systems operating in the band 51,4-52,6 GHz

Recommendation ITU-R F.1 497 Radio-frequency channel arrangements for fixed wireless systems operating in the band 55,78-59 GHz

Recommendation ITU-R F.1520 Radio-frequency arrangements for systems in the fixed service operating in the band 31.8-33.4 GHz

Recommendation ITU-R M.539-3 Technical and operational characteristics of international radio-paging systems

Recommendation ITU-R S.524 Maximum permissible levels of off-axis e.i.r.p. density from earth stations in geostationary-satellite orbit networks operating in the fixed-satellite service transmitting in the 6 GHz, 13 GHz, 14 GHz and 30 GHz frequency bands

Recommendation ITU-R S.725 Technical characteristics for very small aperture terminals (VSATs)

Recommendation STU-R S.726 Maximum permissible level of spurious emissions from very small aperture terminals (VSATs)

Recommendation ITU-R S.727 Cross-polarization isolation from very small aperture terminals (VSATs)

Recommendation ITU-R S\*728 Maximum permissible level of off-axis e.i.r.p. density from very small aperture terminals (VSATs)

## ДОДАТОК Б

Recommendation ITU-R S.729 Control and monitoring function of very small aperture terminals (VSATs)

Recommendation ITU-R SF.4Q6 Maximum equivalent isotropically radiated power of radio-relay system transmitters operating in the frequency bands shared with the fixed-satellite service

Recommendation ITU-R SML328 Spectra and bandwidth of emissions

Recommendation ITU-R SIVL329-10 Unwanted emissions in the spurious domain

Recommendation ITU-R SIVL853 Necessary bandwidth

Recommendation ITU-R SM.1045 Frequency tolerance of transmitters

Recommendation ITU-R SIVL1138

Determination of necessary bandwidths including examples for their calculation and

associated examples for the designation of emissions

Recommendation ITU-R SMI J 538 Technical and operating parameters and spect-rum

requirements for short-range radiocommunication devices

Recommendation ITU-T G-821 Error performance of an international digital connection forming part of an

integrated services digital network

Recommendation ITU-T G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the

primary rate

Recommendation ITU-T G.703 Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces

Recommendation ITU-T CJI010 End-user multimedia QoS categories

Recommendation ITU-T X.140 General quality of service parameters for commu-nication via public data

Recommendation CEPT/ERC/REC 70-03 Relating to the use of short-range devices (SRD)



## Додаток В

### Представлення сигналів у часовій та частотній областях

#### 1. Аналітичні форми представлення сигналів

Електричні сигнали можна аналізувати як у часовій, так і в частотній областях. У першому випадку зміну рівня сигналів з часом зазвичай спостерігають за допомогою осцилографа. При цьому в аналітичній формі гармонійний (синусоїдальний) сигнал  $U(t)$  може бути представлений у виді

$$U(t) = U_m \sin(\omega_0 t) = U_m \sin(2\pi f_0 t), \quad (\text{B.1})$$

де  $U_m$  – амплітуда коливання;  
 $\omega_0$  – кутова (циклічна) частота;  
 $f_0$  – частота сигналу.

Представлення періодичного сигналу в частотній  $\dot{G}(f)$  і часовій  $U(t)$  областях однозначно пов'язані через перетворення Гільберта (так звані пряме та зворотне перетворення Фур'є, які зазвичай позначаються символами  $F$  і  $F^{-1}$ ):

$$\dot{G}(f) = F\{U(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} U(t) e^{-j2\pi f t} dt, \quad (\text{B.2})$$

$$U(t) = F^{-1}\{\dot{G}(f)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{G}(f) e^{j2\pi f t} df. \quad (\text{B.3})$$

де  $F\{U(t)\}$  – пряме перетворення Фур'є сигналу  $U(t)$ ;  
 $F^{-1}\{\dot{G}(f)\}$  – зворотне перетворення Фур'є комплексного спектра  $\dot{G}(f)$  сигналу.

Згідно з теоремою Фур'є будь-який періодичний у часовій області сигнал може бути представлений сумою гармонійних (синусоїдальних і косинусоїдальних) сигналів із різною частотою та амплітудою, яка називається *рядом Фур'є*:

$$U(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n \cdot 2\pi \cdot f_0 \cdot t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos(n \cdot 2\pi \cdot f_0 \cdot t), \quad (\text{B.4})$$

де  $n$  – номер гармоніки коливання;

$A_0$ ,  $A_n$  і  $B_n$  – коефіцієнти Фур'є, які залежать від форми сигналу  $U(t)$  і можуть бути розраховані за формулами:

$$A_0 = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} U(t) dt, \quad (\text{B.5})$$

$$A_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} U(t) \sin(n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) dt, \quad (\text{B.6})$$

$$B_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} U(t) \cos(n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) dt, \quad (\text{B.7})$$

де  $T_0$  – період прямивання імпульсів.

2. Представлення сигналу в частотній області із застосуванням дискретного та швидкого перетворення Фур'є

При  $n \rightarrow \infty$  набір коефіцієнтів Фур'є, розрахованих за формулами (B.5), (B.6) та (B.7) на відповідних частотах  $n/f_0$ , представляє собою спектр сигналу.

Але, з одного боку, для точного розрахунку частотного спектра був би потрібний безкінечний період спостереження. З іншого - умовою застосування формули (B.4) є те, що рівень сигналу повинен бути відомий у будь-який момент часу.

На практиці перетворення Фур'є можна реалізувати з використанням методів цифрового оброблення сигналів, які ґрунтуються на застосуванні положень теореми Котельникова-Шеннона [183, 184]. При цьому процедура цифрового оброблення сигналу передбачає:

- обмеження діапазону частот, що аналізуються, шляхом застосування смугового фільтра із шириною смуги  $B_{ax} = f_{max} - f_{min}$ ;
- часове обмеження сигналів шляхом застосування „віконної” вибірки;
- дискретизацію (взяття вибірок) сигналу із часом;
- квантування сигналу за рівнем;
- здійснення цифрового перетворення (перетворення Фур'є).

Під час дискретизації аналоговий сигнал перетворюється в дискретний, в якому відліки сигналу у фіксовані моменти часу представляються імпульсними сигналами, при цьому частина інформації щодо часової залежності сигналу гу-биться. Згідно із зазначеною теоремою частота дискретизації (частота вибірок)  $f_s$  повинна бути, щонайменше, у два рази більшою, ніж ширина смуги  $B_{ax}$ :

$$f_s \geq 2 B_{ax} \quad \text{або} \quad f_s = 1/T_s, \quad (\text{B.8})$$

де  $T_s$  – період вибірки, с.

В разі застосування зазначеної вище попередньої фільтрації мінімальна частота вибірки  $f_s$  визначається максимальною частотою  $f_{max}$ :

$$f_s \geq 2 f_{max}. \quad (\text{B.9})$$

Розрахунок спектра сигналу за дискретними вибірками в часовій області називають, зазвичай, **дискретним перетворенням Фур'є (ДПФ)**. Для цього випадку формула (B.4) має вид

$$G(k) = \sum_{n=0}^{N-1} U(nT_s) \cdot e^{-j2\pi kn/N} = \sum_{n=0}^{N-1} [U(nT_s) \cdot \cos(2\pi kn/N) + jU(nT_s) \cdot \sin(2\pi kn/N)], \quad (\text{B.10})$$

- де  $G(k)$  – значення спектра сигналу в точці  $k f_s / N$ ;  
 $k$  – номер частотного відліку ( $k = 0, 1, 2, \dots$ );  
 $n$  – номер часового відліку;

## ДОДАТОК В

$U(n T_s)$  - значення вибірки сигналу  $U(t)$  у точці  $n T_s$ , ( $n = 0, 1, 2, \dots$ );  $N$  - довжина ДПФ (загальна кількість вибірок, що використовується для розрахунків перетворення Фур'є);  $j$  - уявна одиниця ( $j = \sqrt{-1}$ ).

На практиці „реальна" і „уявна" компоненти спектра представляють собою лише два квадратурні складники спектра:  $G(k) = G_{\cos}(k) + G_{\sin}(k)$ .

Результатом ДПФ є дискретний частотний спектр, що складається з індивідуальних компонентів на частотах, значення  $f(k)$  яких розраховуються за формулою

$$f(k) = k f_s / N = k / (N T_s). \quad (B.11)$$

З цієї формули випливає, що розрізнення за частотою, тобто мінімальне рознесення між двома частотними компонентами вхідного сигналу, яке необхідне для того, щоб ці компоненти проявлялися на двох різних частотах  $f(k)$  і  $f(k-1)$ , залежить від часу спостереження  $N \cdot T_s$ . Процедура ДПФ періодичного вхідного сигналу (у випадку, коли час спостереження кратний періоду  $T_0$  вхідного сигналу) проілюстрована рис. В.4.1. Вхідний гармонійний сигнал  $U(t)$ , спектр якого  $G_{ax}(f)$  представляє

собою одну лінію на частоті  $f_{ax}$  (рис. В.4.1, б), перемножується з „віконною" функцією  $W(t)$  (рис. В.4.1, в). У зв'язку з тим, що модуль передавальної функції в часовій області має прямокутну Форму, модуль її частотної характеристики  $|S_w(f)|$  описується функцією  $|\sin(x)/x|$  (рис. В.4.1, г):

$$|S_w(f)| = N T_s \sin(2\pi \cdot f \cdot N \cdot T_s / 2) = N T_s \frac{\sin(2\pi \cdot f \cdot N \cdot T_s / 2)}{2\pi \cdot f \cdot N \cdot T_s}. \quad (B.12)$$

Обмеження часу аналізу шляхом застосування „віконної" функції еквівалентно перемноженню вхідного сигналу на цю функцію в часовій області та згортці спектра сигналу й АЧХ „віконної" функції в частотній області. Результат перемноження  $U(t) \times W(t)$  зображений на рис. В.4.1, д.

Унаслідок надто малого часу спостереження протягом одного циклу аналізу (розрахунку спектральних складників за формулою (ВЛ)), який дорівнює  $N \cdot T_s$ , амплітуда спектральних складників  $G_{\cos}(k)$  і  $G_{\sin}(k)$  також надто мала.

Тому для збільшення рівнів спектральних складників результуючий сигнал  $U(t) \times W(t)$  періодично повторюють (рис. В.4.1, ж), що забезпечує накопичення відліків спектра. За рахунок обмеженої тривалості „віконної" функції обвідна результуючого спектра сигналу на виході тракту розширюється й описується функцією  $|\sin(x)/x|$ , а завдяки дискретизації вхідного сигналу з періодом  $T_s$

спектр вихідного сигналу набуває дискретного вигляду, в якому спектральні складники рознесені за частотою на  $f_s$  з амплітудами, рівними нулю, як це зображено на рис. В.4.1, е, а в спектрі сигналу присутній відлік частоти, який точно відповідає частоті сигналу  $f_{ax}$ .

Але у складі реального сигналу присутні безліч спектральних складників, для більшості з яких умова щодо кратності  $N \cdot T_s$  до періоду  $T_0$  не виконується. Це призводить до розширення спектра та появи в його складі бічних складників (рис В.4.1, з).

## ДОДАТОК В

В разі, якщо довжина ДПФ  $N$  кратна числу 2 ( $N = 2^n$ ), представлення спектра сигналу за формулою (В.10) називається швидким перетворенням Фур'є (ШПФ). Основною перевагою ШПФ, порівняно з іншими видами перетворень, є збільшення продуктивності розрахунків за рахунок попереднього обчислення значень  $\cos(2\pi kn/N)$  і  $\sin(2\pi kn/N)$ , що значно спрощує наступне визначення квадратурних складників спектра  $G\cos(k)$  і  $G\sin(k)$ . Наприклад, для  $N=8$  набір коефіцієнтів функції  $\cos(2\pi kn/8)$  становить:  $\{1; 0,707; 0; -0,707; -1; -0,707; 0; 0,707\}$ . Таким чином, реально для визначення спектральних складників потрібно розрахувати лише одне значення, а саме:  $0,707U(nT_s)$  (зі знаком „плюс" або „мінус"); інші „розрахунки" зводяться до прямого чи інверсного повторення значення відліку сигналу  $U(nT_s)$  або взагалі значення відліку не враховується (для довжини  $N = 16$  набір коефіцієнтів функції  $\cos(2\pi kn/16)$  обмежується значеннями  $0; \pm 0,3827; \pm 0,707; \pm 0,9239; \pm 1$ ; для  $N = 4096$  необхідно зберігати в пам'яті ПЕОМ 1095 заздалегідь розрахованих значень коефіцієнтів функції  $\cos(2\pi kn/4096)$ ).

Крім зменшення кількості розрахункових операцій ШПФ дозволяє також зменшувати довжину спектра ШПФ за рахунок відкидання спектральних складників обчисленого спектра з великими номерами (які, як правило, мають надто малий рівень і не впливають на енергетичні характеристики сигналу) після його розрахунку (зменшення довжини ШПФ на етапі його розрахунку неможливо, бо призведе до відповідного погіршення розрізнення за частотою).

ДОДАТОК Г Додаток Г

Гранично допустимі рівні (ГДР) неіонізуючих радіовипромінювань для різних класів РЕЗ і діапазонів радіочастот

Таблиця Г.1

Призначення РЕЗ	Особливості режиму роботи	№ діапаз.	Діапазон радіочастот	ГДР
1	2	3	4	5
Радіоелектронні засоби	Безперервне випромінювання	7	від 3 МГц до 30 МГц	$3 L_{gl}(В/м)$
		8	від 30 МГц до 300 МГц	3 В/м
Телевізійні станції		8,9	від 48 МГц до 1 ГГц	$21 f^{37}(В/м)$
Метеорологічні радіолокаційні станції (РЛС) та їм подібні за режимом роботи (тривалість роботи протягом доби - не більше 12 годин)	Без обертання	9	від 2,6 ГГц до 3,5 ГГц	20 мкВт/см <sup>2</sup>
	Період обертання $T_{об} > 4с$			40 мкВт/см <sup>2</sup>
	Без обертання		від 1,5 ГГц до 2,1 ГГц	12 мкВт/см <sup>2</sup>
	Період обертання $T_{об} > 4с$			24 мкВт/см <sup>2</sup>
	Без обертання	10	від 3 ГГц до 12,5 ГГц	2,5 мкВт/см <sup>2</sup>
	Період обертання $T_{об} > 4с$			60 мкВт/см <sup>2</sup>
	Без обертання	11	від 32,6 ГГц до 44,1 ГГц	2,5 мкВт/см <sup>2</sup>
	Період обертання $T_{об} > 4с$			140 мкВт/см <sup>2</sup>
Оглядові РЛС цивільної авіації та їм подібні за режимом роботи	Час опромінення $T_{опр} < 0,004 T_{об}$	9	від 0,75 ГГц до 1 ГГц	25 мкВт/см <sup>2</sup>
	Час опромінення $T_{опр} < 0,004 T_{об}$		від 1,1 ГГц до 1,5 ГГц	20 мкВт/см <sup>3</sup>
	Час опромінення $T_{опр} < 0,0063 T_{об}$		від 2,6 ГГц до 3,5 ГГц	15 мкВт/см <sup>2</sup>

## ДОДАТОК Г

Кінець таблиці Г 1

1	2	3	4	5
Берегові та суднові оглядові РЛС	Час опромінення $T_{\text{опр}} < 0,0063 T_{\text{об}}$	9	від 2,6 ГГц до 3,5 ГГц	2,5 мкВт/см <sup>2</sup>
	Не більше 12 год на добу			15 мкВт/см <sup>2</sup>
	Не більше 6 год на добу			20 мкВт/см <sup>2</sup>
Примітка. Нумерація діапазонів указана згідно з Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань				

для решти РЕЗ, у тому числі, й для радіолокаційних станцій, що працюють в імпульсному режимі випромінювання, ГДР установлені на рівні 2,5 мкВт/см<sup>2</sup> (або 3 В/м).

Особливість вимірювань рівнів неіонізуючих радіовипромінювань полягає в тому, що вони проводяться в конкретних місцях, що унеможлиблює застосування стаціонарних засобів радіомоніторингу. Тому такі вимірювання виконуються мобільними та портативними засобами радіомоніторингу, а також із застосуванням спеціалізованого обладнання. Обладнання для вимірювання рівнів електромагнітного поля в діапазоні частот понад 30 МГц, та його основні технічні можливості наведені в табл. Г.2.

Таблиця Г.2

Назва умовне позначення	Призначення	Робочий діапазон частот	Межа вимірювання	Похибка
1	2	3	4	5
Вимірювач щільності потоку енергії (ЩПЕ) ПЗ-9 (Росія)	Вимірювання ЩПЕ безперервних і середніх значень імпульсно-модульованих випромінювань	від 300 МГц до 37,5 ГГц	від 0,3 мкВт/см <sup>2</sup> до 16,7 мВт/см <sup>2</sup>	<40%
Вимірювач ЩПЕ ПЗ-18, -19,-20 (Росія)	Вимірювання середніх значень ЩПЕ в дальній зоні	від 300 МГц до 39,65 ГГц	від 0,32 мВт/см <sup>2</sup> до 10 мВт/см <sup>2</sup> (ПЗ-18) від 0,3 мкВт/см <sup>2</sup> до 100 мВт/см <sup>2</sup> (ПЗ-19,-20)	1,0 дБ

## ДОДАТОК Г

Кінець таблиці Г.2

1	2	3	4	5
Вимірювальний комплект FSM-8 (Німеччина)	Вимірювання напруженості електромагнітного поля	від 30 МГц до 1 ГГц	від 1 мкВ/м до 5 В/м	1,5 дБ
Вимірювальний комплект FSM-8.5 (Німеччина)		від 26 МГц до 1 ГГц	від 1 В/м до 10 В/м	1,0 дБ
Вимірювальна система TS-EMF (Німеччина)		від 30 МГц до 3 ГГц	від 1 мВ/м до 100 В/м	—

Форма обвідної спектра найпоширеніших сигналів

Обвідна сигналу у часовій області		Обвідна спектра сигналу	
Аналітичний запис	Графічна форма	Аналітичний запис	Графічна форма
$U(t) \equiv \begin{cases} 1, & -T_{\text{вир}}/2 \leq t \leq T_{\text{вир}}/2 \\ 0, & t \leq -T_{\text{вир}}/2; t \geq T_{\text{вир}}/2 \end{cases}$		$G(f) \equiv \frac{\sin(2\pi f T_{\text{вир}})}{2\pi f T_{\text{вир}}}$	
$U(t) \equiv \begin{cases} 1-2 t /T_{\text{вир}}, &  t  \leq T_{\text{вир}}/2 \\ 0, &  t  \geq T_{\text{вир}}/2 \end{cases}$		$G(f) \equiv \frac{\sin^2(2\pi f T_{\text{вир}})}{(2\pi f T_{\text{вир}})^2}$	
$U(t) \equiv \exp(-2t^2 / T_{\text{вир}}^2)$		$G(f) \equiv \begin{cases} 1, & -f_m \leq f \leq f_m \\ 0, & f \leq -f_m; f \geq f_m \end{cases}$	
$U(t) \equiv \text{sinc}(2\pi f_m t) = \frac{\sin(2\pi f_m t)}{2\pi f_m t}$		$G(f) \equiv \exp(-\pi f T_{\text{вир}}) / 4$	



## ДОДАТОК Е

### Міжнародна система позначення радіосигналів

За правилами Регламенту радіозв'язку радіовипромінювання повинні позначатися відповідно до їх необхідної смуги частот і виду (класу) сигналу. Ширина необхідної смуги частот випромінювання вказується перед позначенням його класу і виражається трьома цифрами й буквою, що обумовлює одиницю виміру частоти. Клас радіосигналу (5 символів) позначається згідно з його основними (3 символи) та додатковими (2 символи) характеристиками. Позначення перших трьох символів обов'язкове.

Значення ширини необхідної смуги частот виражаються для смуг частот від 0,001 Гц до 999 Гц у герцах (буква Н), від 1 кГц до 999 кГц у кілогерцах (буква К), від 1 МГц до 999 МГц у мегагерцах (буква М) і від 1 ГГц до 999 ГГц у гігагерцах (буква Г).

Буква відокремлює цілу частину числа від дробової, наприклад, Н040 - 0,04 Гц, 25Н0 - 25 Гц, 520Н - 520 Гц, 1К25 - 1,25 кГц, 7К00 - 7 кГц, 25К0 - 25 кГц, 1М03 - 1,03 МГц, 12Г5 - 12,5 ГГц.

**Перший символ позначення класу радіосигналу (табл. Е.1) указує на тип модуляції основної несучої частоти.**

Таблиця Е.1 - Кодове позначення типу модуляції основної несучої частоти

Символ	Тип модуляції основної несучої частоти
1	2
<b>A</b>	<b>Амплітудна з двома бічними смугами</b>
B	Амплітудна з незалежними бічними смугами
C	Амплітудна з частково подавленою однією бічною смугою
D	Комбінація чи послідовність амплітудної та кутової модуляції
<b>F</b>	<b>Кутова (частотна)</b>
G	Кутова (фазова)
<b>H</b>	<b>Амплітудна з однією бічною смугою і повною несучою частотою</b>
<b>R</b>	<b>Амплітудна з однією бічною смугою і частково подавленою несучою частотою</b>
<b>j</b>	<b>Амплітудна з однією бічною смугою і подавленою несучою частотою</b>
к	Амплітудно-імпульсна
L	Широтно-імпульсна
м	Фазово-імпульсна
N	Випромінювання не модульованої несучої частоти
P	Послідовність не модульованих імпульсів
	Кутова модуляція несучої частоти протягом передавання імпульсу
R	Амплітудна з однією бічною смугою і частково подавленою (ослабленою) несучою частотою чи зі змінним рівнем несучої частоти
V	Сполучення типів модуляції, що відповідають символам К - R, або інший вид імпульсної модуляції

## ДОДАТОК Е

Кінець таблиці Е.1

1	2
W	Інші випадки, відмінні від перерахованих, коли випромінювання складається з основної несучої частоти, що модульована або одночасно або в заздалегідь установленій послідовності, чи шляхом сполучення двох або більше таких типів модуляції: амплітудної, кутової, імпульсної
X	Інші випадки

Другий символ позначення класу радіосигналу (табл. Е.2) вказує на характер сигналу(лів), що модулює(ють) основну несучу частоту.

Таблиця Е.2 – кодове позначення типу модулюючого сигналу

Символ	Значення модулюючого сигналу
0	Модулюючий сигнал відсутній
1	Один канал із квантованою чи цифровою інформацією без використання модулюючої несучої частоти (за виключенням часового розділення каналів)
2	Один канал із квантованою чи цифровою інформацією з використанням модулюючої несучої частоти (за виключенням часового розділення каналів)
3	Один канал з аналоговою інформацією
4, 5, 6	Резерв
7	Два чи більше каналів із квантованою або цифровою інформацією
8	Два чи більше каналів з аналоговою інформацією
9	Комбінована система з одним або декількома каналами з квантованою чи цифровою інформацією разом з одним або декількома каналами з аналоговою інформацією
X	Інші випадки

Третій символ позначення класу радіосигналу (табл. Е.3) вказує на вид інформації, що передається.

Таблиця Е.3 – Кодове позначення виду інформації, що передається

Символ	Вид інформації
A	Телеграфія (слухове приймання сигналів)
B	Телеграфія (автоматичне приймання сигналів)
C	Факсимільний зв'язок (фототелеграф)
D	Передавання даних, радіотелеметрія, радіодистанційне керування
E	Телефонія та звукове радіомовлення
F	Телебачення
N	Відсутність інформації
W	Сполучення зазначених видів
X	Інші випадки

Четвертий і п'ятий символи додаткового позначення класу радіосигналу (табл. Е.4 і Е.5 відповідно) зазначають детальні відомості про сигнал та характер (метод) ущільнення (мультиплексування). У разі неможливості викори-стання жодного з визначених кодів на його позиції проставляється символ

Таблиця Е.4 - Кодове додаткове позначення детальних відомостей про сигнал

С ИМВОЛ	Відомості про сигнал
А	Двопозиційний код із різною кількістю елементів і (або) з різною їх тривалістю
В	Двопозиційний код з однаковою кількістю рівних за тривалістю елементів без виправлення помилок
С	Двопозиційний код з однаковою кількістю рівних за тривалістю елементів із виправленням помилок
	Чотирипозиційний код, в якому кожна позиція відповідає одному елементу сигналу (з одного чи кількох бітів)
Е	Багатопозиційний код, в якому кожна позиція відповідає одному елементу сигналу (з одного чи кількох бітів)
F	Багатопозиційний код, в якому кожна позиція чи їх комбінація відповідає одному символу
G	Передавання монофонічного звуку радіомовної якості
н	Передавання стерео- чи квадрофонічного звуку радіомовної якості
	Передавання звуку з прийнятною для комерційного зв'язку якістю (за винятком категорій, що відповідають символам К і L)
к	Передавання звуку з прийнятною для комерційного зв'язку якістю з використанням інверсії частот або розщеплення смуги частот

Таблиця Е.5 - Кодове позначення характеру (методу) ущільнення

Си МВОЛ	Характер (метод) ущільнення
С	Кодове ущільнення, включаючи методи розширення спектра
F	Частотне ущільнення
N	Відсутність ущільнення
T	Часове ущільнення
W	Сполучення частотного та часового ущільнень
L	Передавання звуку з прийнятною для комерційного зв'язку якістю з використанням окремих ЧМ сигналів із метою керування рівнем демодульованого сигналу
м	Монохромний сигнал
N	Кольоровий сигнал
W	Комбінація зазначених вище сигналів
X	Інші випадки

## ДОДАТОК Е

Загалом, п'ятизначного позначення достатньо для мети частотного регулювання, але для цілей міжнародного радіомоніторингу Рекомендація ІТУ-Р SM.1270 "Additional information for monitoring purposes related to classification and désignation of émission" пропонує до міжнародного позначення додавати шостий і сьомий символи класифікації, якими зазначати: загальноживану назву системи, що застосовується, її тип (наприклад, старт-стопна, пакетна з виправленням помилок, багатотональна, навігаційна, локаційна тощо), алфавіт (наприклад, російський, англійський тощо), кількість бітів на символ, швидкість у бодах, цикл повторення тощо.

## ДОДАТОК

Характеристики основних типів плезіохронних радіорелейних станцій

№ /п	Найменування радіорелейної станції	Виробник	Діапазон частот, ГГц	Потужність передавача, дБм
Радіорелейні станції малої ємності				
	Mini-Link E	Ericsson	7-38	28
	Mini-Link C, Mini-Link C Micro	Ericsson	15-38	28
	Pasolink	NEC	15; 38	23
	RT	ABB	7; 13; 38	20
	NL 185	ÑERA	15	21
	Радіус-ДС, Радіус-15М(18), Звезда- 11	АТ„Радіус-2”	8; 15; 18	20-26
	DRS21X2	Bosch	18	20
Аналогові радіорелейні станції, репортажні радіорелейні станції				
	Эврика-13 (13-С)	Інститут електроніки та зв'язку	12,75 - 13,25	20
	Эврика-15(15-С)		14,4-15,35	
Цифрові радіорелейні станції				
011	Эврика-13 Эврика-15	Інститут електроніки та зв'язку	12,75-13,25 14,4- 15,35	20
2	Сатурн-Е	АОАТ НВП „Сатурн”	7,9 - 8,4 10,7-11,7 12,75-13,25 14,4-15,35	18-27
3	Spectrum II series Quantum series M series W series LC series	DMC	13; 15; 18; 26 7 10; 13; 15; 18; 23 8; 13; 18; 23	18-20
4	Гелиос-8 ОС/1-PPC-264	НВП „Гелиос-PPC”	7,9 - 8,4	24
5	Alcatel	Alcatel	7; 13; 15; 18; 23; 26; 29; 38	18-24
6	Лилия-М UMR-8 STR 300-7/8 STR 300-13	Рязанський ПБЗ Nokia SAT-SAGEM	7Д5 - 7,75 8,1-8,7 7,1-8,5 7,128-8,498 12,75 -13,25	25 28 27 22,5 26,5

1. Справочник по радиоконтролю. - Женева, МСЭ, 2002.
2. Ступак В.С., Долматов С.О. Основы радиочастотного контролю: Практичний посібник / За редакцією д.т.н. Олійника В.Ф. Київ, 2004. -231 с: іл.
3. Spectrum Monitoring Handbook. Geneva, ITU, 2002.
4. Регламент радиосвязи. Сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра.- М.: 2004.
5. Быховский М.А. Круги памяти. Очерки истории развития радиосвязи и вещания в XX столетии. Сер, „История электросвязи и радиотехники", Вып.1. М; Мобильные телекоммуникации, 2001,
6. Закон України „Про радіочастотний ресурс України\*" від 24.06.2004 р. № 1876-IV із змінами і доповненнями.
7. Порядок здійснення державного нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України в смугах радіочастот загального користування, затверджений Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 27.10.2006 р. № 427. Бюлетень Національної комісії з питань *регулювання зв'язку України (Офіційне видання)*. К.: №10(11) жовтень 2006 р., 160 с.
8. Граничні тарифи на роботи (послуги) Державного підприємства „Український державний центр радіочастот", пов'язані з користуванням радіочастотним ресурсом України, затверджені рішенням Національної комісії з питань *регулювання зв'язку України* від 02.03.2006 р. №217. Бюлетень Національної комісії з питань регулювання зв'язку України (Офіційне видання). К.: № 3(4) березень 2006 р. 160 с.
9. Логинов НА. Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации. - М.: Радио и связь, 2000. - 240 с.
10. Рембовский А.М., Ашнхмин А.В., Козьмин В.А. Радномониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского.- М.: Горячая линия-Телеком^2006.- 492 с: илл.
11. Radiomonitoring and Radiolocation. Products and Solutions // Catalog 2000/2001, Rohde&Schwarz, Munich.  
1 2. Рекомендація ITU-R SM. J 050-2 *Tasks of a monitoring service.*
13. Рекомендація ITU-R SMJ 392-1 *Essential requirement for a spectrum monitoring station for developing countries.*
14. Рекомендація ITU-R SM.443-4 *Bandwidth measurement at monitoring stations.*
15. *Благодарней В.Г., Ступак В.С. Основні терміни у сфері користування радіочастотним ресурсом: Словник-довідник / За ред. П.В. Слободянюка. -Ніжин: ТОВ „Видавництво „Аспект-Поліграф", 2006.- 336 с.*
16. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского.- М: Эко-Трендз, 2006.-376 с: илл.
17. Закон України «Про телекомунікації" від 18.11.2004 р. № 1280-IV із змінами і доповненнями.
18. Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 15.12.2005 р. № 1208, Бюлетень Національної комісії з питань регулювання зв'язку України (Офіційне видання). К.: № 1(2) січень 2006 р., 166 с.

19. План використання радіочастотного ресурсу України, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 09.06.2006 р. № 815. Бюлетень Національної комісії з питань регулювання зв'язку України (Офіційне видання). К.: № 6(7) червень 2006 р. 174 с.
20. Положення про надання висновків щодо електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів, затвердженого рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 12.08.2005 р. №46.
21. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28.06.1996 р.
22. Статут Міжнародного союзу електрозв'язку, ратифікований Законом України № 116/94-ВР від 15.07.1994 р.
23. Конвенція Міжнародного союзу електрозв'язку, ратифікована Законом України № 116/94-ВР від 15.07.1994 р.
24. Положення про Національну комісію з питань регулювання зв'язку України, затверджене Указом Президента від 12.08.2004 р. № 943.
25. Ліцензійні умови користування радіочастотним ресурсом України, затверджені Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 19.08.2005 р. № 53.
26. Закон України "Про ліцензування певних видів господарської діяльності" від 01.06.2000 р. № 1775-Ш із змінами і доповненнями.
27. Ліцензійні умови здійснення діяльності у сфері телекомунікацій з надання послуг рухомого (мобільного) телефонного зв'язку з правом технічного обслуговування та експлуатації телекомунікаційних мереж і надання в користування каналів електрозв'язку, затверджені Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 26.01.2006 р. № 179.
28. Ліцензійні умови здійснення діяльності у сфері телекомунікацій з надання в користування каналів електрозв'язку, затверджені Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 07.12.2007 р. № 1017.  
Ліцензійні умови здійснення діяльності у сфері телекомунікацій з надання послуг з технічного обслуговування і експлуатації телекомунікаційних мереж, мереж ефірного теле- та радіомовлення, проводового радіо мовлення та телемереж, затверджені Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 07.12.2007 р. № 1018.
29. Положення про проведення конкурсів або тендерів на отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України, затверджене Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 24.11.2005 р. №131.
30. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.02.2006 р. № 200 "Про розміри плати за видачу, продовження строку дії, переоформлення, видачу дублікатів ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України".
31. Положення про порядок і форму ведення реєстру радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв» що можуть застосовуватися на території України в смугах радіочастот загального користування, затверджене Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 03. (1.2005 р. № 117.
32. Положення про надання висновків щодо електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів, затверджене Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 12.08.2005 р. №46.

33. Технічний регламент з підтвердження відповідності електромагнітної сумісності, затверджений Наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 31.12.2003 р. № 283.
34. Перелік стандартів і норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби, що можуть застосовуватися в Україні, затверджений наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 23.08.2007 р. № 754.
35. Закон України "Про звернення громадян" від 02.10.1996 р. № 393/96-ВР із змінами і доповненнями.
36. Закон України "Про Митний тариф України" від 05.04.2001 р. № 2371-III із змінами і доповненнями.
37. Кодекс України про адміністративні правопорушення, прийнятий 07.12.1984р. №.8073-Х (із змінами і доповненнями).
38. Положення про Державну інспекцію зв'язку, затверджене рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 26.01.2006 р. №180.
39. Рішення Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 23.08.2005 р. № 55 "Про участь Українського державного центру радіочастот у здійсненні нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України".
40. Розпорядження Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 23.08.2005 р. №4 "Про участь Українського державного центру радіочастот у здійсненні нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України".
41. Рішення Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 29.07.2005 р. №34 "Про здійснення вимірювання параметрів телекомунікаційних мереж загального користування".
42. Розпорядження Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 29.07.2005 р. № 3 "Про здійснення вимірювання параметрів телекомунікаційних мереж загального користування".
43. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні до 2010 року, схвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07.06.2006 р. №316-р.
44. ГОСТ 30338-95 СТСЭ. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народногохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерений и контроля.
45. Recommendation (T(J-R SM. 1045 Frequency tolerance of transmitters.
46. IEEE Std 802.11-2007 Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11; Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
47. IEEE Std 802.11a-1999 (R2003) Local and metropolitan area networks -Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. High-speed Physical Layer in the 5 GHz band.
48. IEEE Std 802.11b (2003) Local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2,4 GHz band.
49. IEEE Std 802.11g (2003) Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band.
50. IEEE Std 802.15.4 (2006) Local and metropolitan area networks - specific requirement. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).



51. IEEE Std 802. J6 (2004) IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.
52. ГОСТ 13924\*80 Передатчики радиовещательные стационарные. Основные параметры, технические требования и методы измерений.
53. Recommendation ITU-R SM.378-6 Field-strength measurement at monitoring stations.
54. CCIR. Report 715-2. Propagation by diffraction. - Recommendation and reports, XVII Plenary assembly, Dusseldorf, 1990.
55. Recommendation ITU-R P.845-3 HF field-strength measurement.
56. Recommendation ITU-R P. 1546-1 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz.
57. Звіт ІТУ-Р ВS.516 Результуюча напруженість поля від декількох електромагнітних полів.
58. Recommendation ITU-R P.529-3 Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.
60. Recommendation ITU-R P.372-8 Radio noise.
61. ГОСТ 30318-95 Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля.
62. Нормы 19-86 Общесоюзные нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения. ГКРЧ СССР.
63. Recommendation ITU-R SM.853-1 Necessary bandwidth,
64. Recommendation ITU-R SM.1 138 Determination of necessary band-widths including examples for their calculation and associated examples for the designation of emissions.
65. Звіт МККР № 836-2. Визначення необхідної смуги частот.
66. Recommendation ITU-R SM.328-10 Spectra and bandwidth of emission.
67. ДСТУ 3254-95 Радіозв'язок. Терміни та визначення.
68. Егоров Е.И., Павлюк А.П. Новый этап в нормировании и контроле ширины полосы частот и внеполосных излучений радиопередатчиков // Электросвязь, - 2003. г № 3.
69. Recommendation ITU-R SM.329-10 Unwanted emissions in the spurious domain.
70. Recommendation ITU-R SM. 1539 Variation of the boundary between the out-of-band and spurious domains required for the application of Recommendations ITU-R SM. 1541 and ITU-R SM.329.
71. Recommendation ITU-R SM. 1541 Unwanted emissions in the out-of-band domain.
72. TIA/EIA-98-C Recommended Minimum Performance. Standards for Dual-Mode Spread Spectrum Mobile Stations.
73. Нормы 18-85 Общесоюзные нормы на побочные излучения радиопередающих устройств гражданского назначения. ГКРЧ СССР.
74. Рекомендация СЕРТ/ЕРС/РЕС 74-01 Побочные излучения.
75. ДСТУ 4184-2003 Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання.
76. Recommendation ITU-R R1191-2 Bandwidths and unwanted emissions of digital fixed service systems.
77. Recommendation ITU-R SM.377 Accuracy of frequency measurements at stations for international monitoring.

78. Локшин М.Г., Шур А.А., Кокорев А.В.» Красношеков Р.А. Сети телевизионного и звукового ОБЧ 4М вещания. - М.: Радио и связь, 1988.
79. Рекомендация СЕРТ/ERC 74-C02) Метод вимірювання напруженості поля на фіксованих пунктах у діапазоні частот від 29,7 МГц до 960 МГц.
80. ETS 300 384 Radio broadcasting systems; Very High Frequency (VHF), frequency modulated, sound broadcasting transmitters.
81. Емельянов Ю.А., Крупнов А.Е., Мамзелев И.А. Сертификация оборудования и услуг связи. - М.: ИТАР-ТАСС, 1999. - 248 с.
82. Ральников В.И., Харченко И.П. Идентификация источников помех с помощью корреляционного регистратора // Электросвязь. - 2001. - № 9.
83. Recommendation ITU-R SM. 182-5 Automatic monitoring of occupancy of the radio-frequency spectrum.
84. Recommendation ITU-R SM.1536 Frequency channel occupancy measurements.
85. Recommendation ITU-R SM. 1793 Measuring frequency channel occupancy using the technique used for frequency band measurement.
86. СЕРТ/ERC Recommendation 01-10 E (Naples 2000) Frequency channel occupancy measurements.
87. Лапин В.А. Пеленгация и идентификация объектов излучения // Материалы семинара руководителей и специалистов центра "Укрчастотнагляд" "Управление радиочастотным ресурсом и радиоконтроль". - Одесса, 1997.
88. Глазнев А.А. и др. Многостанционные системы радиоконтроля и определения местоположения источников радиоизлучения // Специальная техника. Специальный выпуск. - 2002.
89. Recommendation ITU-R SM.1269 Classification of direction finding bearings.
90. Ашихмин А.В. и др. Современные корреляционно-интерференционные измерители пеленга и напряженности электромагнитного поля // Специальная техника. Специальный выпуск. - 2002.
91. Логинов Н.А., Панченко В.Е., Загоскин В.В. Задача пеленгования и определения местоположения передатчиков и проблемы выбора пеленгаторов // Материалы семинара сотрудников Государственного надзора за связью в Российской Федерации. "Радиоконтроль и управление радиочастотным спектром". - Санкт-Петербург, 1998.
92. Мобільний комплекс пеленгування та моніторингу радіочастотного спектра SCORPIO 715. Рекламний проспект фірми Technology for communications international (США), 2001.
93. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. — М.: Вузовская книга, 2003. — 528 с: ил.
94. Варганесян В., Гойхман Э., Рогаткин М. Радиопеленгация. - М.: Воен-издат, 1966. - 248 с.
95. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service // IEEE Trans. Veh. Technologies. 1980. V. VT-29, №3. P. 317-325.
96. Okumura J. et.al. Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Radio Services // Rev. Inst. Elec. Eng. 1968. V. №16, 9-10. P. 825-873.
97. Recommendation ITU-R P.370-8 VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz.

98. Recommendation ITU-R P.1411 Propagation data and prediction methods, for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz.
99. Recommendation ITU-R P. 1410 Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial broadband millimetric radio access systems operating in a frequency range of about 20-50 GHz.
100. Recommendation ITU-R P. 1406 Propagation effects relating to terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.
101. Recommendation ITU-R P. 1238-1 Propagation data and prediction methods for the planning of indoor networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz.
102. Recommendation ITU-R P. 1146 The prediction of field strength for land mobile and terrestrial broadband services in the frequency range from 1 to 3 GHz.
103. Recommendation ITU-R P. 1060 Propagation factors affecting frequency sharing in HF terrestrial systems.
104. Recommendation ITU-R P.1844-1 Ionospheric factors affecting frequency sharing in the VHF and UHF bands (30 MHz-3 GHz).
105. Recommendation ITU-R P.533-7 HF propagation prediction methods.
106. Recommendation ITU-R P.368-7 Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz.
107. Recommendation ITU-R P.526-8 Propagation by refraction.
108. Recommendation ITU-R P.369-6 Reference atmospheric for refraction.
109. Recommendation ITU-R P.370-7 VHF and UHF propagation curves for the *frequency range* from 30 MHz to 1000 MHz. Broadcasting services.
110. Recommendation ITU-R P.528-2 Propagation curves for aeronautical mobile and radionavigation services using the VHF, UHF and SHF band.
111. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радио-доступа.- М.: Эко-Трендз, 2005.- 384 с: ил.
112. Вишне夫斯基 В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные *беспроводные* сети передачи информации. - М.; Техносфера, 2005.- 592 с.
113. Recommendation ITU-R SM. 1055 The use of spread spectrum techniques.
114. Шиллер И. Мобильные телекоммуникации,; Пер. с англ.. - Мл Издательский дом „Вильяме“, 2002. - 384с: ил.
115. Петров Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Горячая линия - Телеком. 2003. - 558 с.
116. Виноградов Е.М., Винокуров В. И., Харченко И. П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. - Л.; Судостроение, 1986. -264 с.
117. Визначення норм частотно - територіального рознесення РЕЗ / Звіт про НДР № 0105U000050, НАУ^Київ, 2005. - 79 с.
118. Головин О.В. Простое СП. Системы и устройства коротковолновой связи / Под ред. проф. О.В. Головина.- М.: Горячая линия-Телеком, 2006.- 598 с, ил.
119. EN 300 135-1 ElectroMagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Angle-modulated Citizens Band radio equipment (CEPT PR 27 Radio Equipment); Part 1: Technical characteristics and methods of measurement).
120. EN 300135-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Angle-modulated Citizens Band radio equipment (CEPT PR 27 Radio Equipment); Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under Article 3.2 of 1999/5/EC Directive).

121. Антипин Б.М., Харченко И.П. Оборудование станций радиокоитроля автоматизированное // „Вестник связи”. - 2007.- №2.
122. Катунин Г.П., Мамчев Г.В., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети. Учебное пособие. В 3 томах. Том 2 - Радиосвязь, радиовещание, телевидение // Под ред. проф. Шувалова В.П.- Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005.- 672 с: ил.
123. ДСТУ 4053-2001 Система стереофонічного звукового мовлення з пілот-тоном. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання.
124. ГОСТ 18633-80 Система стереофонического вещания. Основные параметры.
- 125.Егоров Е.И. и др. Использование радиочастотного спектра и радиопомехи. - М.: Радио и связь, 1980. - 304 с.
- 126.ОСТ 45.125-99 Передатчики радиовещательные ОВЧ диапазона, работающие в режиме частотного уплотнения. Параметры, технические требования, методы измерений.
- 127.Скляр Б.А. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение,- М.; Издательский дом „Вильяме”, 2003.
- 128.Бабак В.П., Наритник Т.М., Куц Ю.В., Казимиренко В.Я. Обробка сигналів у радіоканалах цифрових систем передавання інформації; Навчальний посібник / За заг. ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака.- К.; Книжкове вид-во НАУ, 2005.- 476 с.
- 129.Рихтер С.Г. Цифровое вещание.- М.: Горячая линия-Телеком, 2007.- 352 с: ил.
- 130.Выходец А.В. Звуковое радиовещание.- Одесса: Феникс, 2005.- 246 с.
- 131.ETSI EN 300 401 Radio broadcast Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers. Second Edition (May 1997).
- 132.Быховский М.А., Дотолев В.Г., Зубарев Ю.Б. Проблемы выделения полос частот для наземного цифрового звукового вещания в России // Электросвязь, 2000, №6, с. 18-21.
- 133.Final Acts of the CEPT T-DAB Planning Meeting. Wiesbaden 1995 Special Arrangement Final Protocol Resolution.
- 134.ETSI SN 101 980 V1.1 (2001-09) DRM System Specification (Специфікація *DRM*-систем).
135. ДСТУ 3837-99 Системи аналогового телебачення. Основні параметри та методи вимірювань.
- 136.Пескин А.Ем Труфанов В.Ф. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы; Справочник.- М.: Горячая линия-Телеком^ 2004.-308 с; ил.
- 137.ISO/IEC 13818-1 Information Technology - Coding of Moving Pictures and Assotiated Audio Information. Part 1: Systems./Ed/1, JTS 1/SC 29.1994.
- 138.ISO/IEC 13818-2 Information Technology - Coding of Moving Pictures and Assotiated Audio Information. Part 2: Video./ Ed/1. JTS 1/ SC 29, 1994.
- 139.ISO/IEC 13818-3 Information Technology - Coding of Moving Pictures and Assotiated Audio Information. Part 3: Audio./ Ed/1, JTS 1/ SC 29, 1994.
- 140.Брас Р. Справочник по цифровому телевидению / Изд. „Эра”, 2001.- 230 с: ил.
- 141.ETSI TR 101 190: 2004 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmissions aspects.

142. Recommendation ITU-R BT.601-5 Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios.
143. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие.- М.: „Горячая линия-Телеком“, 2001.- 224 с: ил.
144. Севальнев Л.А. Эфирное вещание цифровых ТВ-программ со сжатием данных // Теле-Спутник, 1998, №10 (36).
145. ETSI EN 300 744 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
146. Заключений звіт по НДР „Освгга-2006”.
147. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимины.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 2000.- 248 с: ил.
148. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи.- СПб.: ВНУ-Санкт-Петербург, 1998.- 256 е.: ил.
149. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной связи. - М.: Эко-Трендз, 1998.- 240 с.
150. Олейник В.Ф., Сайко В.Г., Булгач ВЛ. Радиотелекоммуникационные технологии мобильных систем: теоретические основы и практическое применение. Т.1. Системы сотовой подвижной радиосвязи // Учебно-методическое пособие. Киев, ГУИКТ, 2004.- 307 с.
151. Recommendation ITU-R M. 1073-2 Digital cellular land mobile telecommunication systems.
152. EN 300 095 Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Modulation (GSM 05.04, version 8.1.2, Release 1999). ETSI, 2001.
153. ETSI TR 100 053 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radio site engineering for radio equipment and systems in the mobile service.
154. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. - М.: Эко-Трендз, 2007.- 400 с: ил.
155. Бабков В.Ю., Польшцев П.В., Устюжанин В.И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление / Под ред. проф. А.А. Гоголя.- М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 160 с: ил.
156. Овчинников А.М., Воробьев СВ., Сергеев СИ. Открытые стандарты цифровой транкинговой связи. Серия изданий „Бизнес и связь”. М.: МЦНТИ, ООО „Мобильные телекоммуникации”, 2000. - 166 с.
157. ДСТУ 3937-97 Системи передавання радіорелейні прямої видимості. Класифікація. Основні параметри. Методи вимірювань.
158. Нарытник Т.Н. Радиорелейные и тропосферные системы передачи: Учебное пособие. - К.: Концерн „Видавничій Дім "Ін Юре", 2003.- 336 с.
159. Recommendation ITU-R F.758-4 Принципы разработки критериев совместного использования частот наземной фиксированной службой и другими службами.
160. Recommendation ITU-R S.725 Technical characteristics for very small aperture terminals (VSATs).
161. EN 301790 Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems.
162. Recommendation ITU-R S.726 Maximum permissible level of spurious emissions from very small aperture terminals (VSATs).

163. Recommendation ITU-R S.727 Cross-polarization isolation from very small aperture terminals (VSATs).
164. Recommendation ITU-R S.728 Maximum permissible level of off-axis e.i.r.p. density from very small aperture terminals (VSATs).
165. Recommendation ITU-R S.729 Control and monitoring function of very small aperture terminals (VSATs).
166. Соловьев А.А. Пейджинговая связь. - М.: Эко-Трендз, 2000. - 286 с.
167. ДСТУ 3592-97. Сигнали радіотехнічні вимірювальні. Терміни та визначення.
168. Геер Д. Беспроводные сети. Первый шаг: Пер. с англ. - М.: Издательский дом „Вильяме“, 2005. - 192 с: ил.
169. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11.: Пер. с англ.- М.: Издательский дом „Вильяме“, 2004. -304 с: ил.
170. Звіт по НДР „Методологічні та технічні аспекти радіочастотного контролю нових технологій і систем зв'язку в діапазонах частот вище за 2000 МГц" (Шифр - „СВЧ-моніторинг“).
171. ГОСТ 30372-95 Межгосударственный стандарт. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
172. ДСТУ 2662-94 Засоби радіоелектронні. Комплексування. Терміни та визначення.
- ПЗ. Кааранен Х., Ахтиайнен А., Лаитинен Л., Найян С, Ниemi В. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. М.: Техносфера, 2007. -464 с.
174. Recommendation ITU-R SM. 1393 Common formats for the exchange of information between monitoring stations.
175. Recommendation ITU-R SM. 1394 Common formats for Memorandum of understanding between the agreeing countries regarding cooperation in spectrum monitoring matters.
176. Recommendation ITU-R SM. 1268-1 Method of measuring the maximum frequency deviation FM broadcast emission at monitoring stations.
177. Recommendation ITU-R SM.1537 Automation and integration of spectrum monitoring systems with automated spectrum management.
178. ИРКОС. Технические средства радиоконтроля. Каталог. М.: 2006.
179. Руководящий документ РД 45.193-2001 Оборудование станций радиоконтроля. Общие технические требования. - М.: ЦНТИ „Информсвязь“, 2001.
- ISO.CISPR 16-1 (1997-07) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus.
181. Recommendation ITU-R SM. 1447 Monitoring of the Radio Coverage of Land Mobile Networks to Verify Compliance with a Given Licence.
182. Руководящий документ РБ П 02140.26-2004 Требования к качеству услуг, предоставляемых службами (сетями) сотовой подвижной связи, и методики их оценки.
183. Раушер К., Нанесен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа: Пер. с англ. СМ. Смольского / Под ред. Ю.А. Гребенко - М.; Горячая линия-Телеком. 2006.- 224 с: ил.
184. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. Пер. с фр. под. общей ред. К.С. Шифрина. Изд. Второе стереотипное. Изд. „Наука“. М.: 1967.-780 с: ил.

185. Krüger R., Mellein H. UMTS. Introduction and Measurement-Rohde&Schwarz GmbH&Co. KG. Germany.- 2004.- 276.
186. Recommendation ITU-R SM.1723 Automated mobile spectrum monitoring unit
187. Симонов М.М., Ермилов В.Т. Гармонизация нормативного регулирования земных станций спутниковой связи. М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР), 2004. - 634 с: ил.

## ЗМІСТ

Передмова .....	6
Вступ.....	8
Розділ 1 <i>Завдання</i> служби радіомоніторингу. Методи радіомоніторингу	12
1.1 Загальні положення.....	12
1.2 Місце радіомоніторингу і радіоконтролю у сфері користування РЧР	14
1.3 Завдання служби радіомоніторингу .....	15
1.4 Завдання служби інспектування радіоконтролю .....	18
1.5 Методи проведення радіомоніторингу .....	18
Розділ 2 Регулювання у сфері користування РЧР .....	35
2.1 Органи міжнародної діяльності у сфері користування РЧР.....	35
2.2 Органи державного регулювання та управління у сфері користування РЧР України.....	40
2.3 Державне регулювання у сфері користування РЧР України .....	43
2.4 Вимоги до складу та змісту інформації радіомоніторингу.. .....	48
2.4.1 Загальні вимоги .....	48
2.4.2 Вимоги до складу та умови надання інформації радіомоніторингу споживачам.....	50
Розділ 3 Нормативно-правова засади діяльності у сфері користування РЧР України,„—,.....	55
3.1 Правові засади діяльності у сфері користування РЧР України ..	55
3.2 Нормування частоти радіовипромінювання РЕЗ .....	57
3.3 Нормування напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності.....	60
3.4 Нормування ширини смуги частот і позасмугових випромінювань.....	60
3.5 Нормування побічних випромінювань.....	66
3.6 Нормативні засади для РЕЗ радіотехнологій у смугах загального користування.....	70
Розділ 4 Вимірювання та контроль параметрів радіовипромінювання..	88
4.1 Вимірювання радіочастоти .....	88
4.1.1 Загальні принципи технічного радіоконтролю частоти.....	88
4.1.2 Технічний радіоконтроль частоти .....	90
4.1.2.1 Основний принцип автоматизованого вимірювання	

частоти.....	90
4.1.2.2            Основні вимоги до технічних засобів	
вимірювання частоти .....	91
4.1.2.3            Основні методи вимірювання частоти та її відхилення ..	92
4.1.3              Похибки вимірювання частоти та її відхилення.....	101
4.2. Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання	
та густини потоку потужності .....	103
4.2.1 Особливості вимірювання напруженості поля електромагнітного	
випромінювання та густини потоку потужності .....	103
4.2.2 Методи вимірювання напруженості поля електромагнітного	
випромінювання та густини потоку потужності .....	108
4.2.3 Похибки вимірювання напруженості поля електромагнітного	
випромінювання й густини потоку потужності	
та способи їх зменшення            11	
4.3 Вимірювання ширини смуги частот і	
рівнів позасмугових випромінювань .....	115
4.3.1              Вплив ширини смуги частот випромінювання	
на якість радіозв'язку та основні методи її вимірювання.....	115
4.3.2              Метод вимірювання ширини займаної смуги частот	
за критерієм відношення потужностей .....	117
4.3.2 Метод вимірювання ширини займаної смуги частот	
за критерієм X дБ .....	120
4.3.4 Вимірювання рівнів позасмугових випромінювань .....	125
4.3.5 Рекомендації щодо проведення вимірювань та аналізу результатів	127
4.4 Радіочастотний контроль побічних випромінювань .....	129
4.5 Контроль зайнятості спектра .....	134
Розділ 5 Пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ .....	141
5.1 Загальні принципи та методи визначення місцезнаходження ДРВ	
за допомогою радіопеленгації.....	141
5.2 Визначення місцезнаходження ДРВ наземними рухомими комплексами	
радіомоніторингу та радіоконтролю .....	148
5.3 Основні показники якості радіопеленгаторів.....	152
5.3.1 Точність пеленгування.....	152
5.3.2 Технічні характеристики й параметри радіопеленгаторів .....	158
5.4 Побудова та основні типи радіопеленгаторів.....	161
5.4.1 Загальні принципи побудови радіопеленгаторів.....	162
5.4.2 Амплітудні радіопеленгатори.....	163
5.4.3 Фазові радіопеленгатори..... , .....	173
5.4.4 Інтерферометричні радіопеленгатори.....	177
5.5 Вибір методу пеленгації та типу радіопеленгатора ' .....	180
Розділ 6 Поширення радіохвиль .....	182
6.1 Класифікація радіохвиль.....	182
6.2 Особливості поширення радіохвиль у різних діапазонах частот.....	185
Розділ 7 Радіоінтерфейси систем передавання даних .....	192
7.1 Методи доступу до середовища передавання даних.....	192



7.2	Методи розширення спектра .....	202
7.3	Методи модуляції .....	208
7.4	Особливості технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання РЕЗ, які використовують різні види ущільнення .....	227
	Розділ 8 Радіотехнології та системи радіозв'язку. Методи моніторингу...- ...	228
8.1	Класифікація радіотехнологій та систем радіозв'язку .....	228
8.2	Аналоговий короткохвильовий радіозв'язок.....	232
	8.2.1 Загальні відомості про РЕЗ аналогового КХ зв'язку .....	232
	8.2.2 Системи аналогового КХ зв'язку.....	233
	8.2.3 Системи аналогового КХ персонального зв'язку .....	236
	8.2.4 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ КХ зв'язку... ..	238
8.3	Системи УКХ радіозв'язку .....	240
	8.3.1 Загальні відомості про системи УКХ радіозв'язку .....	240
	8.3.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ УКХ зв'язку .....	244
8.4	Системи аналогового звукового мовлення .....	245
	8.4.1 Загальні відомості про системи аналогового звукового мовлення ..	245
	8.4.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ систем аналогового звукового мовлення .....	254
	Системи цифрового звукового мовлення.....	254
	8.5.1. Загальні відомості про системи цифрового звукового мовлення.....	254
	8.5.2 Система цифрового звукового мовлення стандарту T-DAB .....	256
	8.5.3 Система цифрового звукового мовлення стандарту DRM.....	262
	8.5.4 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ стандартів T-DAB і DRM .....	266
	Системи аналогового та цифрового телевізійного мовлення .....	268
8.6.1	Загальні відомості про системи аналогового та цифрового телевізійного мовлення.....	268
	8.6.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання передавачів аналогового телевізійного мовлення.....	277
	8.6.3 Особливості радіомоніторингу випромінювання передавачів цифрового телевізійного мовлення стандарту DVB-T .....	279
	Системи стільникового рухомого зв'язку .....	280
8.7.1	Призначення та основні принципи організації мереж стільникового рухомого зв'язку .....	280
8.7.2	Системи цифрового стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800....	286
	8.7.2.1 Загальні відомості про системи GSM-900 і DCS-1800 .....	286
	8.7.2.2 Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ систем стільникового зв'язку GSM-900 і DCS-1800....., .....	297
8.7.3	Система стільникового зв'язку D-AMPS.....	302
8.7.3.1	Загальні відомості про систему стільникового зв'язку D-AMPS.....	302
8.7.3.2	Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ системи D-AMPS .....	305
8.7.4	Система рухомого мобільного зв'язку UMTS.....	306

8.7.4.1	Загальні відомості про систему рухомого мобільного зв'язку UMTS	306
8.7.4.2	Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ у смугах частот систем UMTS	317
8.7.5	Системи цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450	317
8.7.5.1	Загальні відомості про системи цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450	317
8.7.5.2	Особливості радіомоніторингу випромінювання РЕЗ у смугах частот систем цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450	333
	Радіорелейний зв'язок	335
8.8.1	Загальні відомості про радіорелейні системи	335
8.8.2	Особливості радіомоніторингу у смугах частот роботи радіорелейного зв'язку	339
8.8.3	Методи технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання РЕЗ радіорелейного зв'язку	340
	Супутниковий зв'язок	345
8.9.1	Загальні відомості про РЕЗ супутникового зв'язку	345
8.9.1.1	Земні станції супутникового зв'язку	346
8.9.1.2	Супутникові станції та особливості їхніх технічних параметрів	352
8.9.2	Особливості радіомоніторингу випромінювання станцій супутникового зв'язку та його організації	354
8.9.3	Особливості організації радіомоніторингу випромінювання земних станцій фіксованого супутникового зв'язку	358
8.10	Системи безпроводового телефонного зв'язку	361
8.11	Системи транкінгового зв'язку	369
8.11.1	Загальні відомості про системи транкінгового зв'язку	369
8.11.2	Особливості організації радіомоніторингу випромінювання систем транкінгового зв'язку	379
8.12	Системи персонального радіовиклику	380
8.12.1	Загальні відомості про системи персонального радіовиклику	380
8.12.2	Особливості організації радіомоніторингу випромінювання систем персонального радіовиклику	385
8.13	Системи, що використовують сигнали з розширенням спектра	386
8.13.1	Загальні відомості про системи, що використовують сигнали з розширенням спектра	386
8.13.2	Локальні мережі безпроводового радіодоступу WLAN	388
8.13.2.1	Загальні відомості про локальні мережі безпроводового радіодоступу WLAN	388
8.13.2.2	Особливості радіомоніторингу в смугах частот роботи систем безпроводового радіодоступу WLAN	398
8.13.3	Локальні мережі безпроводового радіодоступу WPAN	400
8.13.4	Локальні мережі безпроводового радіодоступу WMAN	405
8.13.5	Особливості радіомоніторингу в смугах частот роботи РЕЗ безпроводового радіодоступу WMAN радіотехнології WiMAX	409

8.13.6 Особливості радіомоніторингу в смугах частот роботи PE3 безпроводового радіодоступу WPAN стандартів IEEE 802.15, HomeRF, ZigBee та HiperLAN.....	411
8.13.7 Мережі широкосмугового безпроводового радіодоступу BWA	411
8.13.7.1 Мультисервісні мережі LMDS.....	411
8.13.7.2 Телерадіоінформаційні системи.....	412
8.13.7.3 Мікростільникові безпроводові мережі передавання даних за стандартом EN 301 753 та особливості радіомоніторингу випромінювань їхніх передавачів.....	415
8.14 Перспективні радіотехнології в системах радіодоступу .....	417
Розділ 9 Технічні засоби та обладнання радіомоніторингу .....	428
9.1 Призначення технічних засобів та обладнання радіомоніторингу ...	428
9.2 Класифікація технічних засобів радіомоніторингу .....	429
9.3 Технічні та функціональні вимоги до технічного оснащення системи радіомоніторингу.....	430
9.4 Загальні принципи побудови стаціонарних станцій радіомоніторингу	.436
9.5 Загальні вимоги до обладнання та засобів вимірювальної техніки ..	439
9.6 Основні параметри та характеристики РПП і аналізаторів спектра.	440
9.7 Загальні вимоги до технічних параметрів і характеристик РПП .....	450
9.8 Загальний принцип роботи РПП і аналізатора спектра. ....	453
9.9 Виробники обладнання радіомоніторингу .....	466
9.10 Системи радіомоніторингу, стаціонарні та мобільні <i>станції радіомоніторингу</i> .	
9.11 Портативні та носимі засоби радіомоніторингу .....	483
9.12 Обладнання радіомоніторингу.....	483
9.13 Аналізатори спектра.....	495
9.14 Обладнання для оцінювання якості функціонування мереж зв'язку	501
Розділ 10 Організація системи радіомоніторингу....., ^	
10.1. Загальна структура системи радіомоніторингу .....	514
10.1.1 Організаційна структура та вимоги до системи радіомоніторингу .....	514
10.1.2 Загальні вимоги до елементів АСРМ.....	515
10.2.....	Національні системи радіомоніторингу .....
10.2.1 Система радіомоніторингу Франції.....	519
10.2.2 Система радіомоніторингу Німеччини .....	521
10.2.1 Система радіомоніторингу Великої Британії .....	521
10.2.1 Система радіоконтролю Російської Федерації.....	522
10.3 Організація та завдання системи радіомоніторингу в смугах радіочастот загального користування в Україні .....	524
10.4.....	Розрахунок зони радіопокриття стаціонарної СРМ .....
Додаток А Значення ширини контрольної смуги частот для певних класів радіовипромінювання .....	533
Додаток Б Перелік основних нормативних документів і рекомендацій, що визначають загальні й технічні вимоги до характеристик і електричних параметрів PE3 та методи їх контролю .....	534

Додаток В Представлення сигналів у часовій та частотній областях .....	558
Додаток Г Гранично допустимі рівні (ГДР) неіонізуючих радіовипромі- нювань для різних класів РЕЗ і діапазонів радіочастот .....	562
Додаток Д Форма обвідної спектра найпоширеніших сигналів.....	565
Додаток Е Міжнародна система позначення радіосигналів .....	566
Додаток Ж Характеристики основних типів плезіохронних радіорелейних станцій .....	570
Бібліографія,.....•.....».....*	571

