

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЦЕНТР РАДІОЧАСТОТ

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ РАДІОЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

За редакцією
доктора технічних наук, професора
В. Г. Кривуци

Київ 2012

ББК 32я2
Д 58
УДК 621. 396.6 (03)

Автори: П. В. Слободянюк, Т. М. Наритник, В. Г. Благодарний,
В. Г. Сайко, В. Л. Булгак

За редакцією д-ра техн. наук, професора **В. Г. Кривуци**

Рецензенти:

*Поповський В. В., д-р техн. наук, професор,
Кравчук С. О., д-р техн. наук*

Д 58

Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу:
Навч. посібник / За ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Кривуци та Т. М. Наритника. — К.: ДУІКТ, 2012. — с.
ISBN ?????????

Книга являє собою курс з основ управління радіочастотним ресурсом (РЧР), що включає в себе головні принципи управління використанням радіочастотного ресурсу, діапазони спектра електромагнітних коливань, основні Положення Регламенту радіозв'язку, відомості щодо національних та міжнародних органів регулювання (управління) у сфері використання радіочастотного ресурсу. Розглянуто канали передавання радіосигналу, наведено розрахунки енергетичних характеристик радіоліній, методи визначення захисного відношення, особливості, способи та моделі поширення радіохвиль різних діапазонів. Висвітлено проблему електромагнітної сумісності технічних засобів, наведено класифікацію радіозавод та технічних засобів за показниками електромагнітної сумісності.

Розглянуто технічні основи аналізу електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів (передавальних, приймальних та антенних пристроїв), описано технічні засоби забезпечення їхньої електромагнітної сумісності в разі впливу різних завод у системах зв'язку та критерії електромагнітної сумісності, викладено процедури координації частотних присвоєнь та методи частотно-територіального планування. Викладено основи регулювання радіочастотного ресурсу, а також принципи управління використанням РЧР на національному та міжнародному рівнях.

Розкрито особливості ліцензування діяльності операторів зв'язку, сертифікації радіоелектронних засобів, організації служби радіомоніторингу в системі регулювання у сфері використання РЧР України та схарактеризовано структуру сучасної системи радіочастотного моніторингу.

Вміщено великий за обсягом довідковий матеріал із нормативних документів міжнародних і національних органів у сфері регулювання процесів використання РЧР.

До кожного розділу книги наведено контрольні питання та завдання з розв'язаннями.

Книгу може бути використано як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які здобувають освіту за напрямком підготовки бакалаврів і магістрів «Радіотехніка». Вона буде корисною для викладачів, науковців, а також для тих читачів, які цікавляться проблематикою управління та регулювання у сфері використання радіочастотного ресурсу, електромагнітної сумісності радіоелектронних та інших технічних засобів телекомунікацій.

ISBN ?????????

© П. В. Слободянюк, Т. М. Наритник, В. Г. Благодарний, В. Г. Сайко та ін., 2012

ВСТУП

Управління радіочастотним спектром (РЧС) і забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) мають важливе практичне значення. Адже сфера застосування радіосистем у різних галузях людської діяльності швидко розширюється і кількість радіозасобів, які працюють у спільній смузі частот на обмеженій території, неухильно зростає. Через це технічна проблема ефективного використання РЧС і забезпечення ЕМС РЕЗ стає дедалі складнішою. Вона має не тільки національний, а й міжнародний аспект, оскільки радіохвилі не знають кордонів а радіосистеми та їхні відповідні засоби мають бути розгорнуті в такий спосіб, аби не створювати завад роботі РЕЗ сусідніх держав.

Зауважимо, що приблизно на середину 1960-х років практично припав початок інтенсивних досліджень проблеми електромагнітної сумісності, а на період від 1970–1980 років і до теперішнього часу — чітке розуміння того, що ця проблема тісно пов'язує між собою практично всі технічні аспекти й системні питання організації та функціонування сучасних телекомунікацій. Ідеться передусім про теорію модуляції та кодування, системний підхід, методи множинного доступу та організаційні напрацювання, які являють собою, по суті, узагальнений досвід розробників щодо освоєння радіочастотного ресурсу. Навіть питання екології виявилися тісно пов'язаними з електромагнітною сумісністю.

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

З огляду на високі темпи розвитку техніки цифрового радіозв'язку, впровадження інноваційних технологій та їх конвергенцію, що супроводжується підвищенням швидкостей передавання все більших обсягів інформації, потреба в радіочастотному спектрі загального користування з кожним роком істотно зростає. За таких умов особливо важливу роль у процесі вдосконалення системи управління РЧР відіграє радіомоніторинг радіочастотного спектра, який дозволяє визначити ефективність його використання, забезпечувати ЕМС діючих РЕЗ і випромінювальних пристроїв, виявляти джерела електромагнітних завад.

Для виконання відповідних завдань потрібні радіоінженери, які мали б системні знання з управління РЧР і ЕМС РЕЗ та спеціальну підготовку, що давало б їм змогу успішно розв'язувати численні проблеми, які постають у цій сфері. Утім в Україні донедавна не приділялося належної уваги підготовці таких фахівців у вищих навчальних закладах.

Варто також наголосити, що нині в Україні, незважаючи на появу останніми роками низки праць [1–5], присвячених розглядуваній проблематиці, явно бракує друкованих видань, в яких із належною повнотою висвітлювалися б питання, пов'язані з проблемами використання РЧС, його дистанційного контролю та моніторингу. Маємо гострий дефіцит книг, особливо підручників та навчальних посібників, із тематики управління радіочастотним ресурсом з урахуванням сучасного рівня та тенденцій розвитку телекомунікацій. Усунути певною мірою цю прогалину має пропонуване видання, що докладно висвітлює основні аспекти проблем радіочастотного моніторингу та радіоконтролю практично для всіх нині діючих систем радіотехнологій. При цьому всі питання викладено з урахуванням нормативно-правових засад щодо діяльності у сфері користування РЧР і економічних аспектів регулювання його використання.

Натомість у відомій науково-технічній літературі можна знайти вкрай мало інформації про методи проведення моніторингу РЧС та технічного контролю параметрів радіовипромінювання передавачів. А якщо навіть зазначені питання й розкриваються, то, як правило, у вузькоспеціалізованому плані й для обмеженого класу (категорій) радіотехнологій.

Насправді фахівці у галузі радіомоніторингу переймаються проблемою побудови системи радіочастотного моніторингу (СРЧМ), яка дозволяє ефективно контролювати використання РЧР України й надавати необхідну інформацію іншим органам у сфері регулювання використання РЧР для забезпечення впровадження новітніх радіотехнологій і послуг зв'язку.

Автори пропонованого навчального посібника, беручи це до уваги, наводять загальні підходи до побудови СРЧМ, які сформувалися на базі багаторічного досвіду фахівців Державного підприємства «Український державний центр радіочастот» щодо створення СРЧМ, інтеграції в єдину інформаційно-аналітичну систему підприємства і забезпечення її безперебійного функціонування.

Принагідно зазначимо, що національний досвід регулювання використання РЧР переконує: за допомогою самих лише адміністративних та технічних заходів не завжди можна досягти високої ефективності використання РЧР. Управління та регулювання використання РЧР має спиратися на застосування сукупності правових, економічних, адміністративних, організаційних і технічних процедур, які ґрунтуються на державних законодавчих актах і положеннях, а також на міжнародних угодах, що сприяють ефективному функціонуванню обладнання радіозв'язку без появи взаємних радіозавад. Від раціонального використання РЧР залежать доходи операторів (користувачів) і надходження до бюджету держави. Таким чином, у рамках державної системи регулювання використання РЧР для досягнення високої ефективності його використання мають застосовуватися відповідні економічні методи.

У цьому навчальному посібнику вперше вміщено матеріали щодо економічних аспектів регулювання використання РЧР, методів ціноутворення у сфері використання РЧР, ефективності використання РЧР і способів її оцінювання.

При створенні посібника автори використали також свій багаторічний досвід читання лекційних курсів для студентів за напрямом «Радіотехніка» у Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій (ДУІКТ) і на курсах підвищення кваліфікації керівного складу та спеціалістів Державного підприємства «Український державний центр радіочастот» за напрямом «Радіочастотний моніторинг», що діють у Навчально-науковому інституті післядипломної освіти ДУІКТ.

Навчальний посібник складається з десяти розділів.

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

Розділ 2 присвячено розгляду каналу передавання радіосигналу, опису його структури, розрахунку енергетичних характеристик радіолінії, особливостям і моделям поширення радіохвиль різних діапазонів.

У **розділі 3** обґрунтовано проблему ЕМС технічних засобів, подано класифікацію радіозавад і їх джерел, класифікацію технічних засобів за показниками ЕМС, а також розглянуто питання їх сертифікація на відповідність ЕМС.

Розділ 4 присвячено технічним основам аналізу ЕМС радіоелектронних засобів, проаналізовано параметри радіопередавальних, радіоприймальних та антенних пристроїв, що впливають на ефективність використання радіочастотного ресурсу, описано нормування їхніх характеристик.

У **розділі 5** вміщено опис заходів із забезпечення ЕМС технічних засобів при впливі різних завад у системах зв'язку, зокрема наведено схеми та принципи роботи одно- і двоканальних компенсаторів завад, а також розглянуто методи подавлення імпульсних завад.

У **розділі 6** наведено та проаналізовано критерії EMC PE3, розглянуто методи визначення захисного відношення (використовуваного як критерій електромагнітної сумісності радіосистем), впливу завад на приймачі аналогової і цифрової системи радіозв'язку. Приділено увагу питанням координації частотних присвоєнь при спільному використанні смуг спектра частот, теоретичним передумовам ефективного використання спектра в телекомунікаційних системах, методам частотно-територіального планування і методам ефективного використання РЧР.

Розділ 7 присвячено основам управління (регулювання) використанням РЧР, розглянуто цілі, завдання та функції управління, принципи управління використанням РЧР на міжнародному та національному рівнях.

У **розділі 8** описано стандарти, процедури видачі дозволів на використання обладнання, висвітлено технічні аспекти присвоєння частот радіостанціям, а також особливості ліцензування діяльності операторів зв'язку та сертифікації PE3.

У **розділі 9** наведено завдання служби радіомоніторингу та служби радіоінспекції, стисло розглянуто методи проведення радіомоніторингу, подано узагальнену структуру системи радіомоніторингу, описано основні складові автоматизованої системи радіомоніторингу, сформульовано пропозиції щодо структури та конструкції стаціонарних і мобільних засобів радіомоніторингу, наведено основні підходи до планування та побудови СРЧМ. Приділено увагу питанням розрахунку зон радіопокриття стаціонарних радіоконтрольних постів і їхніх потреб, описано структуру сучасної системи радіочастотного моніторингу, реалізованої Державним підприємством «Український державний центр радіочастот», визначено основні аспекти міжнародного співробітництва у сфері радіомоніторингу. Розглянуто принципи організації мереж радіозв'язку перспективних радіотехнологій, які визначають головні тенденції розвитку радіомоніторингу.

Розділ 10 присвячено економічним аспектам регулювання використання РЧР, методам ціноутворення у сфері використання РЧР, питанням ефективності використання РЧР та способам її оцінювання, економічним проблемам радіомоніторингу.

У **додатках** подано великий за обсягом матеріал, що включає в себе нормативні документи міжнародних і національних органів у сфері регулювання (управління) використанням радіочастотного ресурсу.

Кожний розділ містить приклади застосування викладених у ньому методів розрахунку і завершується добіркою питань, призначених для самоперевірки та контролю засвоєння відповідного матеріалу.

Навчальний посібник призначено для широкого кола читачів — студентів, слухачів закладів підвищення класифікації, науковців та всіх тих, хто цікавиться питаннями використання та управління радіочастотного ресурсу в телекомунікаціях.

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

Автори висловлюють глибоку вдячність рецензентам — докторам технічних наук *Поповському В. В.* і *Кравчуку С. О.*, які подали слушні зауваження та цінні пропозиції щодо вдосконалення змісту навчального посібника, а також *Олійнику В. Ф.*, *Корсаку В. Ф.*, *Гелку І. О.* за корисні й кваліфіковані поради стосовно вдосконалення змістової частини праці.

Автори будуть щиро вдячні за зауваження та побажання, пов'язані з подальшим удосконаленням змісту та форми викладу матеріалу.

Відгуки та зауваження щодо навчального посібника просимо надсилати на адресу:

03110, Київ, вул. Солом'янська, 7,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

або на електронну пошту Університету:

vgsaiko@gmail.com Сайко В. Г.

Автори висловлюють глибоку подяку ад'юнкту Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ» *Шевченку А. С.*, який виконав величезний обсяг роботи з підготовки його до друку.

Автори також дякують інженеру-програмісту казенного підприємства науково-виробничого комплексу «Іскра» *Залевському А. П.* за наданий матеріал до підрозділу 5.3.

Нашу велику подяку приносимо також інженеру Інституту електроніки та зв'язку УАН України *Петраш Н. І.* яка доклала майстерність власних рук і часточку душі до технічного оформлення книги та її підготовки до виходу в світ.

Автори будуть щиро вдячні всім майбутнім читачам за можливі зауваження та побажання, пов'язані з її подальшим удосконаленням. Відгуки з цього приводу просимо надсилати на адресу: **03148, Київ-148, а/с 90. Інститут електроніки та зв'язку НАН України.**

До Ваших послуг також адреса електронної пошти інституту: *director@mitris.com*

П Е Р Е Л І К

НАЙБІЛЬШ ВИКОРИСТОВУВАНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМ	— амплітудна модуляція
АС	— абонентська станція
АСРМ	— автоматизована система радіомоніторингу
АЧХ	— амплітудно-частотна характеристика
БП	— бічна пелюстка
БР	— Бюро радіозв'язку
ВВЧ	— вкрай високі частоти
ВЕВР	— відносна ефективність використання ресурсу
ВЕВС	— відносна ефективність використання спектра
ВП	— вертикальна поляризація
ВП	— випромінювальні пристрої
ВЧ	— високі частоти
ГВЧ	— гіпервисокі частоти
ГІС	— географічна інформаційна система
ГП	— горизонтальна поляризація
ГПП	— густина потоку потужності
ГСО	— геостационарна супутникова орбіта
ГУРЧ	— Головне управління з використання радіочастот
ГШ ЗСУ	— Генеральний штаб Збройних сил України
ДВЧ	— дуже високі частоти
ДІЗ	— Державна інспекція зв'язку
ДНЧ	— дуже низькі частоти
ДРВ	— джерело радіовипромінювання
ДС	— діаграма спрямованості
ДСА	— діаграма спрямованості антени
ДХ	— довгі хвилі
ЕВП	— ефективно випромінювана потужність
ЕВР	— ефективність використання ресурсу
ЕІВП	— еквівалентна ізотропно випромінювана потужність
ЕМ	— електромагнітний
ЕМВП	— ефективно монополюсно випромінювана потужність
ЕМО	— електромагнітна обстановка
ЕМС	— електромагнітна сумісність
ЕРС	— електрорушійна сила
ЗВ	— захисне відношення
ЗІП	— запасні частини, інструменти та прилади
ЗП	— задня пелюстка
ЗПЧ	— завадна проміжна частина
ЗРЗ	— засоби радіозв'язку
ЗС	— завадний сигнал

ЗТУ	— загальні технічні умови
ІЗ	— імпульсна завада
ІРЗ	— індустриальні радіозавади
КЗ	— компенсатор завад
КМУ	— Кабінет Міністрів України
КП	— коефіцієнт підсилення
КС	— корисний сигнал
КХ	— короткі хвилі
ЛЕП	— лінії електропередавання
ЛЧМ	— лінійна частотна модуляція
МЕК	— Міжнародна електротехнічна комісія
МККР	— Міжнародний консультативний комітет з питань радіо
МКРМ	— мобільний комплекс радіомоніторингу
МСЕ	— Міжнародний союз електрозв'язку
МСЧ	— Міжнародний список частот
МТРЧ	— Міжнародна таблиця розподілу частот
НВ	— натурні випробування
НВЧ	— надвисокі частоти
НДБІ	— наддовгобазова інтерферометрія
НКРЗ	— Національна комісія з питань регулювання зв'язку
НРТР	— Національна рада з питань телебачення та радіомовлення
НТД	— нормативно-технічна документація
НТРЧ	— Національна таблиця розподілу смуг радіочастот
НЧ	— низькі частоти
ОІТ	— обладнання інформаційних технологій
ОКН	— один канал на носійну
ОЧУ	— ортогональне частотне ущільнення
ПАК	— програмно-апаратний комплекс
ПДН	— передавач, що діє незаконно
ПНМ	— промислові, наукові та медичні
ПРЕА	— побутова радіоелектронна апаратура
ПРН	— повітряна радіонавігація
ПРХ	— поширення радіохвиль
ПС	— пересувна служба
ПЧ	— проміжна частота
РВП	— радіовипромінювальні пристрої
РЕЗ	— радіоелектронні засоби
РЛС	— радіолокаційна станція
РМ	— радіомовлення
РПП	— радіоприймальні пристрої
РР	— Регламент радіозв'язку
РРЛ	— радіорелейна лінія
РС	— рухома служба
РСС	— рухома супутникова служба
РЧР	— радіочастотний ресурс
РЧС	— радіочастотний спектр
СРЧМ	— система радіочастотного моніторингу

ССЗ	— супутникова система зв'язку
СХ	— середні хвилі
СЧ	— середні частоти
ТБВЧ	— телебачення високої чіткості
ТГ	— терагерцовий
ТЗ	— технічні засоби
ТРЛ	— тропосферні радіорелейні лінії
ТУ	— технічні умови
ТЧ	— тональна частота
УВЧ	— ультрависокі частоти
ДП «УДЦР»	— Державне підприємство «Український державний центр радіочастот»
УРЧМ	— Управління радіочастотного моніторингу
УРЧП	— Управління радіочастотних присвоєнь
ФНЧ	— фільтр низьких частот
ФС	— фіксована служба
ФСС	— фіксована супутникова служба
ФЧХ	— фазочастотна характеристика
ЦВВ	— цифровий вибіркового виклик
ЦОВЗ	— Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку
ЧМ	— частотна модуляція
ЧРК	— частотне розділення каналів
ЧСЗ	— частотно-селективні завмирання
ЧТР	— частотно-територіальне рознесення
ANSI	— American National Standards Institute
BASMS	— Basic Automated Spectrum Management System (базова автоматизована система управління використанням спектра)
CEPT	— Conference of European Post and Telecommunications
CISPS	— (CICIP) Comite International Special des Perturbations Radioelectriques
DBMS	— Database Management System (автоматизована система управління базою даних)
ECC	— Electronic Communication Comission
IEEE	— Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	— International Standards Organization
ITU	— International Telecommunication Union
UMTS	— Universal Mobile Telecommunication System

РОЗДІЛ 1

РАДІОЧАСТОТНИЙ РЕСУРС ТА ОРГАНИ УПРАВЛІННЯ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯМ

1.1. Діапазони спектра електромагнітних коливань

Спектр є концептуальним поняттям, що використовується для опису низки фізичних явищ. Серед них значний інтерес становлять електромагнітні хвилі, які породжуються змінними в часі електричним і магнітним полями та поширюються у просторі на різних частотах (або з різною довжиною хвиль). Набір усіх можливих частот (множин) називають *електромагнітним (ЕМ) спектром*.

Зауважимо, що ЕМ спектр, який займає смугу частот від 3000 Гц до 3000 ГГц, називають *радіочастотним спектром (РЧС)*. Сучасний розвиток радіотехнологій використовує частоти до 400 ГГц.

Крайні діапазони радіочастот *дуже низьких частот (ДНЧ)* та *гіпервисоких частот (ГВЧ)* за значеннями частот відрізняються на 9 порядків. Прикладна цінність радіохвиль різних діапазонів суттєво різна, що виявляється в різному використанні смуг РЧС.

Висока динаміка розвитку засобів телекомунікацій протягом останніх десятиріч тісно пов'язана із застосуванням технологій санти- та міліметрових довжин хвиль, яким відповідають частоти від 3 ГГц до 300 ГГц. Ці радіохвилі формують так званий *мікрохвильовий діапазон*, який, утім, не є загальноприйнятим поняттям, на відміну від *надвисокочастотного (НВЧ)* та *вкрай високочастотного (ВВЧ) діапазонів*, офіційно визнаних Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ). Саме тому в деяких публікаціях нижні межі мікрохвильового діапазону опускають до 0,3 ГГц, тобто до нього включають також ультрависокі (від 0,3 ГГц до 3 ГГц) частоти. Далі автори додержуватимуться цієї позиції.

Останніми роками увагу фахівців різних наукових технічних дисциплін, таких, скажімо, як радіоастрономія, радіозв'язок у приміщеннях (in door communication), радіолокація та радіонавігація, біологія та медицина, криміналістика тощо, привертають хвилі терагерцового діапазону, які мають особливі властивості, що виявляються під час їх взаємодії з різноманітними фізичними та біологічними засобами.

Терагерцовий діапазон охоплює частоти від 100 ГГц до 3 ТГц (у довжинах хвиль — від 3 мм до 100 мкм). Знизу він визначається частотно-часовим обмеженням (від 100 ГГц та вище) електронних переходів у напівпровідникових структурах, а згори — максимальною довжиною хвилі квантових переходів лазерних структур. Таким чином, цей діапазон містить у собі короткохвильову частину міліметрового діапазону, увесь субміліметровий інфрачервоний (довгохвильовий) ІЧ-діапазони довжини хвиль, а також діапазон коливальних переходів молекул ($10^{-2} \dots 10^{-1}$ еВ). Узагальнену характеристику електромагнітного спектра та сфер його застосування наведено на рис. 1.1.

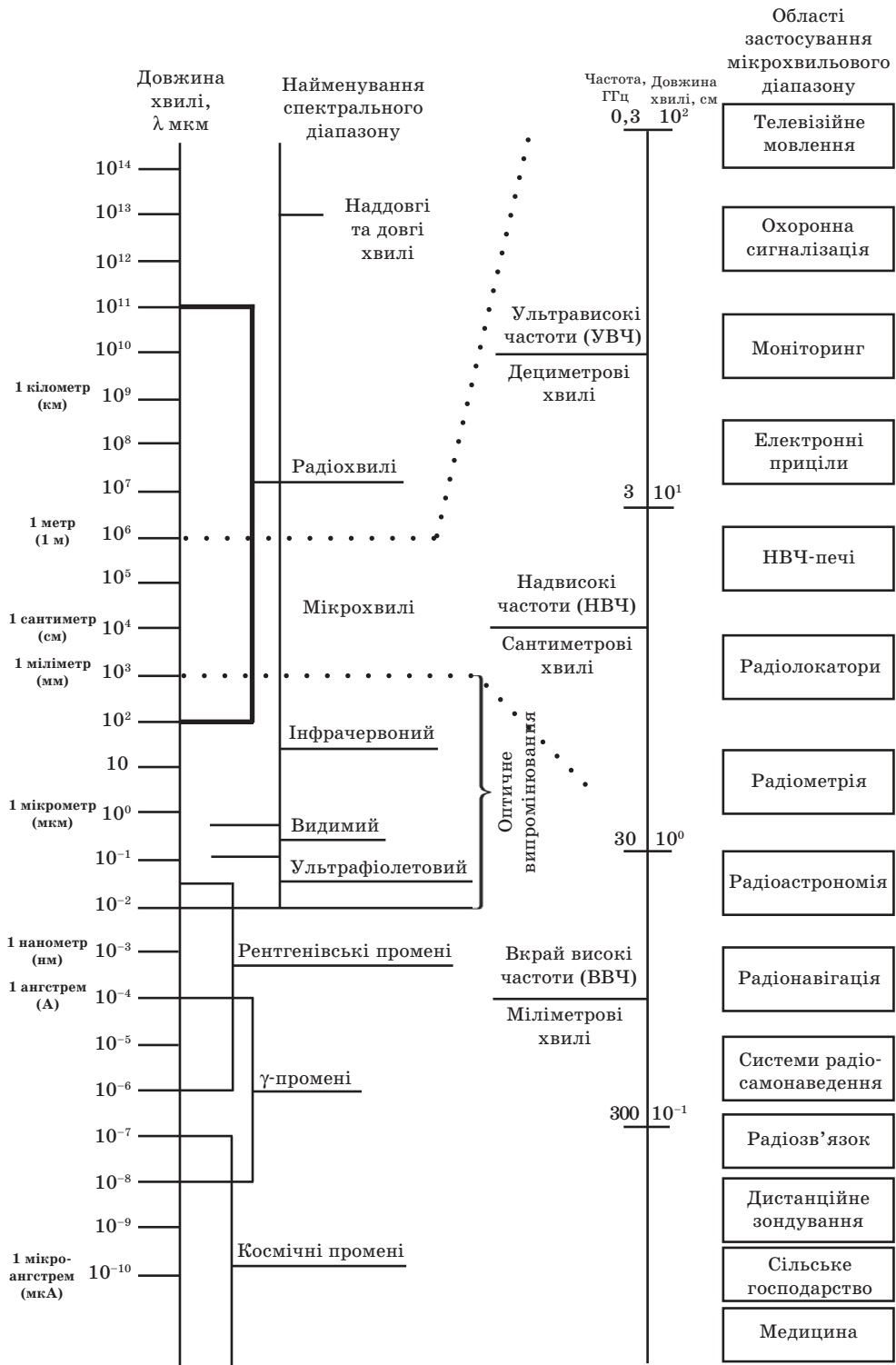


Рис. 1.1. Електромагнітний спектр і області його використання в мікрохвильовій техніці

Частотні діапазони спектрів низки газів містяться поміж короткохвильовою частиною ВВЧ діапазону та довгохвильовою — терагерцового діапазону. У терагерцовому діапазоні найбільший вплив на поглинання електромагнітних хвиль має водяна пара.

Великі надії на освоєння терагерцових хвиль покладають фахівці у сфері контролю навколишнього середовища (виділення шкідливих домішок у різних середовищах: атмосфері, воді, близькому космічному просторі тощо). Астрономи сподіваються за допомогою радіотелескопів у цьому частотному діапазоні отримати нову інформацію про далекі небесні тіла та динаміку розвитку Всесвіту.

Відомо, що практично всі біологічні структури мають власні резонансні частоти, на які вони відгукуються, якщо ці частоти збігаються з частотами зовнішнього електромагнітного поля. Діапазон цих частот доволі широкий і охоплює область на шкалі електромагнітних хвиль від наднизьких частот до частот, які розділяють іонізуючі та неіонізуючі випромінювання ($\lambda \sim 200$ нм). Так, у КХ-діапазоні ці частоти перебувають в області коливальних рухів молекул. У терагерцовому діапазоні містяться резонансні частоти деяких біологічних структур організму та живої клітини. Скажімо, соматична клітина ссавців має резонансну частоту 2,39 ТГц, хромосоми різної генної активності — 0,75...15 ТГц. Розрахунок показує, що резонансні частоти альвеол легенів перебувають у діапазоні 0,3...0,5 ТГц, а еритроцитів крові — 0,5...1 ТГц.

Необхідно зазначити, що в терагерцовому діапазоні перебуває значна частина електромагнітного реліктового випромінювання, відкритого в середині 1960-х років за допомогою потужних радіотелескопів. З космології відомо, що це випромінювання виникло близько 6 млрд років тому під час так званого великого вибуху, тобто задовго до появи планети Земля та зародження життя на ній (близько 3 млрд років тому). Реліктове випромінювання — це широкосмугове випромінювання з максимумом поблизу $\lambda \sim 1$ мм, який міститься поблизу низькочастотного краю ТГц випромінювання. Із доволі високим ступенем вірогідності можна стверджувати, що реліктове випромінювання не могло не мати істотного впливу на формування живої матерії та еволюцію життя на Землі. Можна сподіватися, що з часом після вимірювання реліктового випромінювання в терагерцовому діапазоні з'являться інтригуючі дані щодо впливу та ролі електромагнітних хвиль на еволюцію живих систем.

Згідно з Рекомендацією МКР 431-5 (1990 р.) увесь спектр електромагнітних коливань, частоти яких коливаються від 0,03 Гц до 3000 ТГц, умовно поділяється на діапазони частот, за декадним принципом:

$$0,3 \cdot 10^N < f \leq 3 \cdot 10^N, \text{ Гц,}$$

де $N = -1, 0, 1, \dots, 15$.

Радіохвилі поширюються зі швидкостями, близькими до швидкості світла ($3 \cdot 10^8$ м/с). Тому частоту радіохвилі можна розрахувати, якщо поділити швидкість світла на довжину хвилі.

Усі діапазони довжин хвиль, мають найменування, що відповідає класифікації:

$$0,1 \cdot 10^{9-N} < \lambda \leq 10^{9-N}, \text{ м.}$$

Уточнену на Міжнародній радіоконференції класифікацію діапазонів електромагнітних коливань наведено в табл. 1.1.

Класифікація діапазонів частот (хвиль) електромагнітних коливань

Номер діапазону	Найменування діапазону частот	Умовне позначення	Межі діапазону	Найменування діапазону хвиль	Межі діапазону, м
-1			0,03 ... 0,3 Гц	Гігаметрові хвилі	$10^{10} \dots 10^9$
0			0,3 ... 3 Гц	Гектомегаметрові хвилі	$10^9 \dots 10^8$
1	Вкрай низькі частоти	ВНЧ (ELF)	3 ... 30 Гц	Декамегаметрові хвилі	$10^8 \dots 10^7$
2	Наднизькі частоти	ННЧ (ELF)	30 ... 300 Гц	Мегаметрові хвилі	$10^7 \dots 10^6$
3	Інфранизькі частоти	ІНЧ (ELF)	300 ... 3000 Гц	Гектометрові хвилі	$10^5 \dots 10^4$
4	Дуже низькі частоти	ДНЧ (ELF)	3 ... 30 кГц	Міріаметрові хвилі	$10^4 \dots 10^3$
5	Низькі частоти	НЧ (LF)	30 ... 300 кГц	Кілометрові хвилі	$10^3 \dots 10^2$
6	Середні частоти	СЧ (MF)	300 ... 3000 кГц	Гектометрові хвилі	1000 ... 100
7	Високі частоти	ВЧ (HF)	3 ... 30 МГц	Декаметрові хвилі	100 ... 10
8	Дуже високі частоти	ДВЧ (VHF)	30 ... 300 МГц	Метрові хвилі	10 ... 1
9	Ультрависокі частоти	УВЧ (UHF)	300 ... 3000 МГц	Дециметрові хвилі	$1 \dots 10^{-1}$
10	Надвисокі частоти	НВЧ (SHF)	3 ... 30 ГГц	Сантиметрові хвилі	$10^{-1} \dots 10^{-2}$
11	Вкрай високі частоти	ВВЧ (EHF)	30 ... 300 ГГц	Міліметрові хвилі	$10^{-2} \dots 10^{-3}$
12	Гіпервисокі частоти	ГВЧ (NHF)	300 ... 3000 ГГц	Дециміліметрові хвилі	$10^{-3} \dots 10^{-4}$
13	Низькі інфрачервоні частоти	НІЧЧ	3 ... 30 ТГц	Сантиміліметрові хвилі	$10^{-4} \dots 10^{-5}$
14	Високі інфрачервоні частоти	ВІЧЧ	30 ... 300 ТГц	Мікрометрові хвилі	$10^{-5} \dots 10^{-6}$
14a	Видимий спектр	ВСЧ	300 ... 750 ТГц		
15	Низькі ультрафіолетові частоти	НУФЧ	300 ... 3000 ТГц	Децимікрометрові хвилі	$10^{-6} \dots 10^{-7}$
16	Високі ультрафіолетові частоти	ВУФЧ	3 ... 30 ПГц		$10^{-7} \dots 10^{-8}$
Примітка. Терагерцовий діапазон ($1 \cdot 10^{-11} < f \leq 1 \cdot 10^{-13}$) декадному принципу розподілу частот не відповідає.					

У третьому стовпці таблиці наведено й англomовні абрeвіатури для скоpоченого позначення діапазонів частот.

Згідно з [1] діапазони з $N = 1, \dots, 12$ мають частотне найменування, що відповідає більш ранній класифікації лише для діапазонів радіохвиль (радіочастот). Електромагнітні хвилі, частоти яких довільно обмежено частотами, нижчими за 3000 ГГц, та які поширюються у просторі без штучного хвилеводу, належать до радіохвиль.

Радіочастотний спектр охоплює такі діапазони частот, Гц:

$$0,3 \cdot 10^N < f \leq 3 \cdot 10^N,$$

де $N = 4, \dots, 12$.

Мікрохвильовому діапазону відповідає $N = 9, \dots, 11$.

У більшості країн діапазони частот, що використовуються для телебачення, позначаються римськими цифрами від I до V, як показано в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Позначення діапазонів частот для телебачення

Позначення діапазону частот	Смуга частот, МГц		
	Район 1	Район 2	Район 3
I (наприклад: 1,2 канали ТБ)	47...68	54...68	47...68
II (наприклад: 3,4,5 канали ТБ)	87,5...108	88...108	87,5...108
III (наприклад: 6...12 канали ТБ)	174...230	174...216	174...230
IV (наприклад: 21...34 канали ТБ)	470...582	470...582	470...582
V (наприклад: 35...69 канали ТБ)	582...862	582...862	582...862

Іноді певні діапазони частот позначаються за допомогою літер, а не умовних символів та скорочень (як у табл. 1.1). Такі позначення складаються із великих літер, що можуть супроводжуватися будь-яким індексом (зазвичай — мала літера). При цьому відсутня стандартна відповідність між літерами та розглядуваними діапазонами частот, тобто однакові літери можуть використовуватися для позначення різних діапазонів. Тому при першому використанні літерного позначення необхідно робити виноску на відповідні межі частотного діапазону або хоча б на одну частоту в цьому діапазоні.

Так, у службах радіовизначення та космічного зв'язку використовується класифікація, наведена в табл. 1.3.

У космічному радіозв'язку діапазони К та Ка позначаються одним символом Ка. Таке позначення дісталось у спадок від минулого, тоді як в сучасних публікаціях МСЕ воно не використовується.

Таблиця 1.3.

Позначення діапазонів частот у службах радіовизначення та космічного зв'язку

Літерні позначення	Радіолокація, ГГц		Космічний зв'язок	
	Області спектра	Приклади, ГГц	Номінальні позначення	Приклади, ГГц
L	1...2	1,215...1,4	Діапазон 1,5	1,525...1,710
S	2...4	2,3...2,5; 2,7...3,4	Діапазон 2,5	2,5–2,69
C	4...8	5,25...5,85	Діапазон 4/6	4,5...4,8
X	8...10,9	8,5...10,5	—	—
Ku	10,9...18	13,4...14; 15,3...17,3	Діапазон 11/14; діапазон 12/14	10,7...13,25 14,0...14,5
K	18...26,5	24,05...24,25	Діапазон 20	17,7...20,2
Ka	26,5...40	33,4...36	Діапазон 30	27,5...30

1.2. Необхідність розподілу та особливості використання радіочастотного ресурсу

Радіочастотний спектр коливань (радіохвиль) характеризується смугою частот випромінюваних (та прийраних) коливань, тривалістю часу випромінювання радіохвиль і фізичним простором, де можуть виявлятися (приймаються) штучно створені випромінювання.

При цьому використання середовища поширення радіохвиль (ПРХ) не призводить до його витрачання.

Можливості використання радіочастотного спектра обмежуються умовами ПРХ, а також радіозавадами, що мають як природний характер (приміром, грозові розряди), так і штучний, викликаний діяльністю людини (численні індустриальні заводи, наприклад від систем запалювання автомобілів тощо).

Особливу групу штучних завод утворюють взаємні заводи (випромінювання від радіоелектронних засобів (РЕЗ) різноманітних радіослужб).

Радіослужба (служба радіозв'язку) — служба, яка здійснює передавання і/або приймання радіовипромінювань з певною метою.

Радіовипромінювання — потік енергії у вигляді радіохвиль, що виходять від будь-якого джерела.

Труднощі виникають, коли доводиться розміщувати у просторі випромінювання на даному часовому інтервалі дедалі зростаючу кількість електромагнітних полів, що не створюють завод одне одному. Сукупність цих труднощів породжує проблему електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів. У наш час це поняття поширюється не лише на РЕЗ, але й на інші технічні засоби, оскільки електромагнітні поля можуть завдавати шкідливого впливу, наприклад, медичному та обчислювальному обладнанню. У свою чергу, не випромінювальне обладнання може виступати джерелом неприйнятних завод іншим (у тому числі — радіотелекомунікаційним) засобам.

Радіочастотний спектр має основні ознаки відновлюваного матеріального природного ресурсу. Він являє собою штучно відтворювану сукупність електромагнітних полів, призначених для передавання та приймання інформації (а в ряді випадків і енергії).

Радіочастотний спектр (РЧС) — безперервний інтервал радіочастот, не вищих за 3 ТГц [24].

Згідно із Законом України «Про радіочастотний ресурс України» **радіочастотний ресурс** — це частина радіочастотного спектра, придатна для передавання та, або приймання електромагнітної енергії радіоелектронними засобами, яку можливо використовувати на території України та за її межами відповідно до законів України та міжнародного права, а також на виділених для України частотно-орбітальних позиціях [24].

Термін «радіочастотний спектр» не дає уявлення про зміст поняття як про ресурс. Тому з метою організованого використання радіочастотного спектра доцільніше застосовувати термін «радіочастотний ресурс».

Радіочастотний ресурс (РЧР) — частина радіочастотного спектра, придатна для передавання і/або приймання електромагнітної енергії РЕЗ.

При створенні РЕЗ в інтересах різних радіослужб ураховується неоднорідність РЧР, зумовлена, передусім, відмінністю механізмів ПРХ та різною частотною ємністю діапазонів радіочастотного спектра.

Ємність (місткість) будь-якого діапазону визначає потенційні можливості останнього як ресурсу.

При одноразовому використанні вона визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів із шириною $\Delta F_{\text{сигн}}$, «уміщуваних» у даному діапазоні в даний час на даній території, і визначається формулою:

$$Q = (F_{\text{макс}} - F_{\text{мін}}) / \Delta F_{\text{сигн}},$$

де $F_{\text{макс}}$ та $F_{\text{мін}}$ — відповідно верхня та нижня гранична частота діапазону.

Збуджуване випромінювачами поле радіохвиль різної довжини заповнює навколишній простір із різною інтенсивністю через специфіку поширення та поляризації радіохвиль, а також спрямовувальних властивостей випромінювачів.

При вимкненні радіоелектронного засобу (РЕЗ) РЧР у даній смузі частот і в даному об'ємі простору відновлюється, тобто цей ресурс не витрачається неповнювано (як, приміром, руда), а лише використовується.

Це означає, що існує можливість багатократного використання одних і тих самих ділянок спектра з урахуванням трас зв'язку, рознесення роботи радіозасобів у часі, просторі та за поляризацією.

Отже, ефективно (без взаємних завад) використання спектра можливе лише за умов розподілу робочих смуг спектра між споживачами РЧР у згідно зі змінюваними умовами ПРХ, заводою обстановкою (як складовою електромагнітної обстановки — ЕМО), потребами в передаванні змінюваних потоків інформації.

Зі зростанням потреб у телекомунікаціях, збільшується й кількість РЕЗ. Через це постає необхідність в управлінні використанням РЧР, зокрема потреба в перерозподілі спектра.

Оскільки радіохвилі не визнають жодних адміністративних кордонів, зокрема й державних, проблема ефективного використання РЧР має міжнародний характер, а відтак нею опікується вся міжнародна спільнота.

Проблеми розподілу та використання РЧР торкаються інтересів усіх держав, усіх галузей науки та виробництва, усіх відомств, які використовують або експлуатують РЕЗ.

Розподіл робочих ділянок частот не може здійснювати держава або відомство (служба) на власний розсуд, оскільки навіть ненавмисно це може призвести до ураження завадами радіоканалів іншої держави (відомства, служби) та, у свою чергу, до можливості потрапити під вплив завад з її боку.

Уже протягом кількох десятиріч практично всі освоєні діапазони радіочастотного спектра більш чи менш ефективно використовуються. Цього можна досягти лише за «ретельно-дбайливого» планування та розподілу РЧР, а також реєстрації РЕЗ у міжнародному масштабі.

При розподілі РЧР зважають на особливості ПРХ на різних частотах, географічне розташування радіотрас та обслуговуваних радіозв'язком територій, а також:

- значущість різних служб, що використовують нові смуги радіочастот (радіоканали), радіочастоти;
- можливу кількість радіоканалів, яку можна «розмістити» на виділеній ділянці спектра;
- можливості використання однієї й тієї самої ділянки спектра, для служб, рознесених у просторі, тощо.

Особливості використання радіочастотного ресурсу такі:

1. РЧР використовується, але не витрачається. Адміністрації зв'язку, у підпорядкуванні яких перебуває цей ресурс, мають виділяти ділянки спектра для планованих, але ще не перевічених областей використання з метою забезпечення розробки апаратури та розвитку передбачуваних служб.

Може, утім, виявитися не вигідним зберігати протягом невизначено тривалого часу за якоюсь майбутньою областю використання виділену смугу частот, тоді як уже існують інші служби, для яких доцільність його використання вже буде доведеною.

Що ж до закріплення за радіосистемами певних смуг частот, то це може завдати клопотів, коли йтиметься про перерозподіл спектра поміж різними споживачами, з огляду на потрібні капіталовкладення (аналогічно тому, як виникають труднощі при перерозподілі забудованої землі).

2. РЧР є міжнародним ресурсом — він доступний для всіх. Жодна держава не в змозі розподіляти радіочастоти лише на свій розсуд, оскільки при цьому вона навіть ненавмисне могла б порушити розподіл частот, прийнятий сусідньою державою та, у свою чергу, потрапити під вплив завад з її боку, що призвело б до не виправданого погіршення використання РЧС в усьому світі. Таким чином, місцеві розподіли частот неодмінно мають підпорядковуватися загальному порядку, обумовленому міжнародними угодами.

3. РЧР використовується нераціонально, якщо за його допомогою розв'язуються завдання, які з легкістю можна було б виконати іншими засобами. Зокрема, нині ряд завдань розв'язується за допомогою радіозасобів, хоча їх можна було б виконувати, використовуючи штучні спрямовувальні (кабельні) засоби.

4. РЧР витрачається не виправдано, якщо обрані параметри радіосистеми не відповідають поставленому (розв'язуваному) завданню. Це положення можна проілюструвати виділеними для місцевого радіомовлення смугами частот 550...1640 кГц.

Через поширення за допомогою просторової хвилі на цих частотах у нічний час створюються суттєві завади далеко за межами обслуговуваної зони.

5. РЧР зазнає «забруднення». Радіозавади — негативний підсумок широкого використання електромагнітних полів у всіх сферах діяльності людини. Вони «забруднюють» деякі ділянки спектра радіочастот, знижуючи можливості його використання. Проблема радіозавад є всеохопною, і її не можна розв'язати виключно завдяки зусиллям організацій, зацікавлених у використанні спектра.

6. Використання радіочастотного ресурсу пов'язане з необхідністю врахування постійних змін. Будуть з'являтися нові можливості щодо використання РЧР, а відтак — виникатимуть і нові потреби в такому використанні. Будь-які пропозиції щодо розподілу спектра частот та відповідних методів розподілу мають ураховувати можливості подальших змін.

Іншою причиною необхідності змін є природне збільшення кількості споживачів ресурсу. Навіть давно існуючі радіослужби можуть з часом постати перед необхідністю скоротити займану ними ділянку радіочастот спектра або переміститися в інший діапазон частот, аби звільнити місце для нових споживачів.

Надзвичайно важливою причиною, що спонукає до внесення змін, є природне зростання попиту на зв'язок із рухомими об'єктами. Для людей, які перебувають у дорозі, радіозв'язок є єдиним засобом підтримування контакту зі світом, їхньою домівкою або місцем роботи. Діяльність багатьох підприємств доволі суттєво залежить від того, з якою швидкістю дістається певного місця їхній персонал та матеріали (вантажі).

Окрім того, небезпеку, що виникає внаслідок зростання швидкостей пересування, можна зменшити завдяки надходженню найбільш повної екстреної інформації щодо всіх можливих конфліктних ситуацій.

І, нарешті, за допомогою радіозв'язку можна реалізувати життєздатну та миттєво готову до дії систему державної безпеки.

7. За правильністю використання такого цінного міжнародного природного ресурсу, як радіочастотний, необхідний безперервний контроль. Ані будь-які прецеденти, ані зовнішній тиск не можуть виправдати його «розбазарювання». Головна відповідальність при цьому покладається на організації, що розробляють плани використання ресурсу та розподілюють радіочастоти. Утім усі відповідальні за розробку, конструювання та експлуатацію систем і обладнання повинні робити все можливе для найбільш ефективного використання спектра.

Перевага у використанні спектра має належати тим службам, які не можуть користуватися іншими засобами зв'язку через специфіку свого функціонування. Саме тому службам, пов'язаним із забезпеченням суспільної безпеки (наприклад, військова та цивільна повітряна або морська рухома служба), смуги частот спектра виділяється першочергово.

Безперервна перевірка має проводитися не лише щодо розподілу частот між окремими службами, але й стосовно використання частот кожною конкретною службою. Контроль необхідний і для забезпечення боротьби з несанкціонованим (не ліцензованим) використанням РЧР.

Критерієм при здійсненні контролю має бути доцільність, а не право пріоритету.

8. Усі споживачі РЧР, а також розробники та виготовлювачі апаратури мають нести постійну відповідальність за правильне використання сил і матеріальних засобів, що виділяються для пошуку шляхів поліпшення використання РЧС. Особливо великою є відповідальність тих служб, які займають значні за розміром або завантаженістю ділянки спектра. Більш жорсткі норми на параметри радіосистем мають упроваджуватися виготовлювачами та споживачами на добровільних засадах. За відсутності такого бажання відповідні адміністрації зв'язку мають сильніше впливати на конструювання систем.

9. Вимоги ефективного використання РЧР поширюються і на користувачів спектра не для цілей радіозв'язку. Так, організації, що використовують радіочастоти в установках промислового нагрівання або діатермії мають бути готовими до виконання жорстких вимог щодо стабільності частоти, рівня випромінювань і т. ін.

1.3. Органи міжнародної діяльності у сфері використання РЧР

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) (International Telecommunication Union, ITU) зі штаб-квартирою у м. Женеві є спеціалізованим міжнародним закладом Організації Об'єднаних Націй в галузі електрозв'язку що опікується питаннями розвитку мереж та служб електрозв'язку (зокрема й регулювання використання спектра) у всесвітньому вимірі. Загальну структуру управлінських органів МСЕ ілюструє рис. 1.2.

Організація діяльності МСЕ регламентується його Статутом (останню редакцію було ухвалено 2003 року) [22], Конвенцією МСЕ [23], а також положеннями Адміністративних регламентів:

- Регламенту міжнародного електрозв'язку;
- Регламенту радіозв'язку [1].

Відповідно до положень Статуту МСЕ головною метою діяльності МСЕ є:

- забезпечення та розширення міжнародного співробітництва між членами Союзу задля вдосконалення та раціонального використання всіх видів

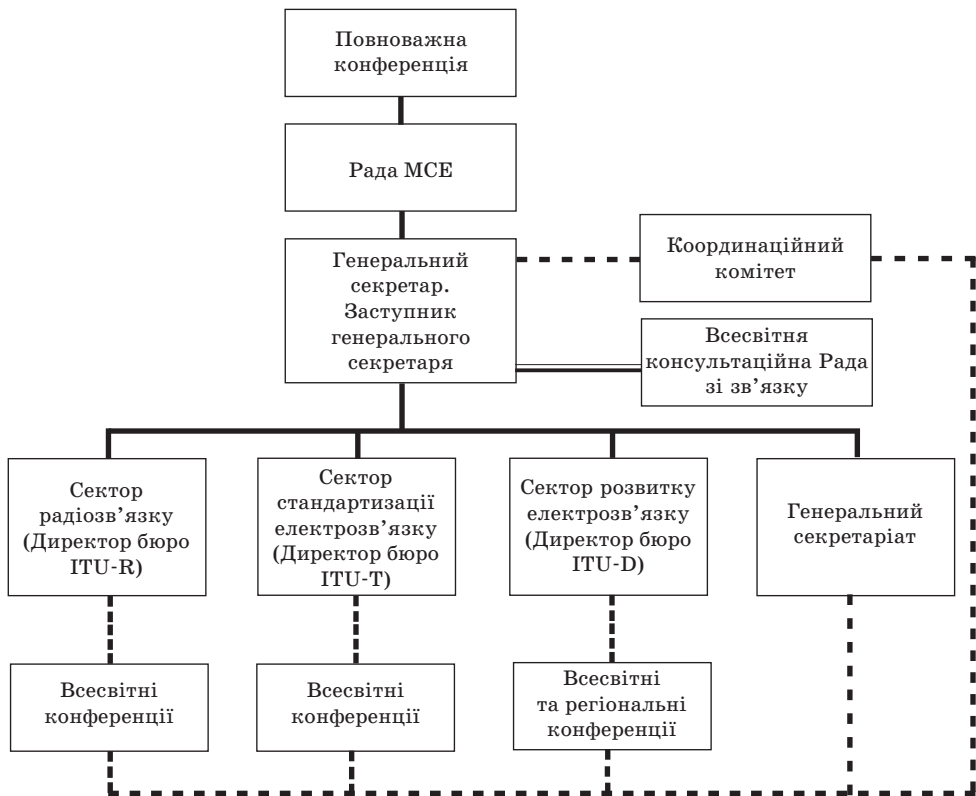


Рис. 1.2. Загальна структура керівних органів МСЕ

(----- — координація; == — керівництво та відповідальність; — — консультація)

електрозв'язку, сприяння технічній допомозі в галузі електрозв'язку та надання її країнам, які розвиваються;

— сприяння розвитку технічних засобів і їх ефективній експлуатації для підвищення продуктивності служб електрозв'язку, розширення сфери їх застосування та максимального використання населенням;

— сприяння розповсюдженню новітніх технологій у галузі електрозв'язку;

— узгодження міжнародної діяльності всіх країн, спрямованої на досягнення поставленої мети.

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

Найвищим керівним органом МСЕ є Повноважна конференція, яка проводиться, зазвичай, один раз на чотири роки. Вона ухвалює фундаментальні довгострокові рішення щодо визначення основних напрямків розвитку телекомунікацій, розв'язує питання організації діяльності МСЕ, визначає бюджет закладу, а також обирає Генерального секретаря, його заступника, членів Ради, Радіорегламентного комітету та Директорів бюро секторів.

Рада МСЕ забезпечує відповідність стратегії МСЕ умовам розвитку електрозв'язку у світі, координацію роботи МСЕ та фінансовий контроль за його діяльністю, а також ухвалює бюджет на два роки. Крім цього, Рада керує

діяльністю МСЕ протягом часу між Повноважними конференціями та діє від її (конференції) імені.

До складу Ради МСЕ нині входять 46 членів, обраних 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 та 12 від Азії та Австралії).

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

Історично Сектор радіозв'язку сформувався 1993 року на базі Міжнародного консультативного комітету з радіомовлення (Consultative Committee for International Radio, CCIR) та Міжнародного комітету реєстрації радіочастот (International Frequency Registration Board, IFRB).

Сектор радіозв'язку здійснює свою роботу через:

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

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

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 передання таким державам відповідних технологій у галузі електрозв'язку.

Сектор розвитку електрозв'язку здійснює свою роботу через:

- Всесвітні та Регіональні конференції з питань розвитку електро-зв'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 щодо електрозв'язку, приміром розробку частотних планів радіо-служб, перегляд положень Регламенту радіозв'язку тощо.

Нині членами МСЕ є 191 держава, а крім того — 630 компаній (закладів, організацій) є членами Секторів МСЕ.

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

Європейську конференцію адміністрацій пошти та зв'язку (Conference of European Post and Telecommunications, СЕРТ, зі штаб-квартирою в Норвегії) засновано 19 європейськими країнами 1959 року з метою забезпечення більш тісного співробітництва між операторами зв'язку європейських держав. Умови членства в СЕРТ полягають, по-перше, у приналежності учасників до країн Європи та, по-друге, у членстві у Всесвітній організації поштового зв'язку (Universal Postal Union, UPU) і/або електрозв'язку — ІТУ. Сьогодні ця організація являє собою регіональне об'єднання, до якого входять 46 європейських держав.

Цільова функція діяльності СЕРТ як об'єднання поштового та електрозв'язку, загалом кажучи, полягає у зміцненні співробітництва держав-членів та створенні умов динамічного розвитку цих видів зв'язку у країнах Європи шляхом здійснення таких заходів:

- визначення пріоритетів розвитку пошти та телекомунікацій;
- створення форуму для визначення регуляторної політики в галузі зв'язку;
- забезпечення умов для взаємодопомоги між державами — членами об'єднання;
- визначення спільної позиції країн Європи щодо питань, які розглядаються ІТУ та UPU;
- підтримання стандартизації в галузі поштового та електрозв'язку на загальноєвропейському рівні.

Сукупність поточних і стратегічних завдань СЕРТ щодо управління використанням РЧР належить до сфери діяльності Комісії з електронного зв'язку (Electronic Communication Commission, ЕСС). Базові документи СЕРТ/ЕСС щодо розподілу частот такі:

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

Управління використанням РЧС у Європі здійснюється відповідно до рекомендацій МСЕ, але за 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). Так, оскільки у країнах Європи рекомендації МСЕ щодо діапазону частот систем ІМТ-2000 частково реалізувати було неможливо, то згідно з рішенням СЕРТ/ЕСС для UMTS було виділено смугу частот із шириною, на 7% меншою за рекомендовану МСЕ (215 замість 230 МГц).

Загалом мета діяльності СЕРТ щодо поштового зв'язку та телекомунікацій зводиться до деталізації діяльності міжнародних організацій (UPU та ITU) стосовно країн Європи.

Європейський інститут телекомунікаційних стандартів (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) було засновано 1988 року зборами директорів СЕРТ. Основний вид діяльності Інституту — розробка стандартів у галузі зв'язку та суміжних із нею галузях. На території Європи Інститут відповідає за стандартизацію у сфері телекомунікацій, теле- та радіомовлення, а також деяких інформаційних технологій. Членами ETSI окрім операторів зв'язку є представники виробників, користувачів, постачальників послуг, а також представники національних організацій зі стандартизації.

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

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

1) ініціаціювання розробки нормативних документів може належати будь-якій з організацій (СЕРТ/ЕСС чи ETSI);

2) ETSI як розробник стандартів технічних характеристик станцій та систем має узгоджувати всі питання щодо використання РЧС із СЕРТ/ЕСС;

3) СЕРТ/ЕСС як розробник регуляторних актів використання РЧС бере до відома рекомендації ІТУ та враховує специфіку використання РЧС у європейських країнах. При цьому провідну роль щодо визначення позиції СЕРТ/ЕСС з питання використання РЧС відіграють дві робочі групи ЕСС: робоча група з управління спектром (Working Group Frequency Management, WGFM) та робоча група з технологій радіочастотного спектра (Working Group Spectrum Engineering, WGSE);

4) початковим публікаціям (ухваленню) регуляторних документів ETSI та СЕРТ/ЕСС передують громадське обговорення та взяття до відома його результатів у остаточних редакціях цих документів.

Розроблені стандарти затверджуються на технічній асамблеї та випробовуються протягом певного терміну як тимчасові європейські телекомунікаційні стандарти I-ETS (Interim European Telecommunications Standards). По закінченні випробувального терміну серед держав — членів Інституту проводиться голосування, при цьому ухваленим більшістю голосів документам I-ETS надається статус європейських стандартів ETS.

Стандартизація електрозв'язку як об'єкт діяльності ETSI та СЕРТ забезпечує взаємодію телекомунікаційних систем, упровадження інновацій та розвиток нових ринків, формування довіри до ринкових товарів і уникнення надмірного дублювання у процесах розробки телекомунікаційних засобів.

Міжнародна організація стандартизації (International Standards Organization, ISO) опікується розробкою стандартів, зокрема в галузі телекомунікацій. ISO, заснована 1946 року, об'єднує понад 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 та студентів США, що опікується питаннями стандартизації в галузі зв'язку та суміжних із нею галузях і функціонує як координаційний орган із комп'ютерних та телекомунікаційних стандартів.

Американський національний інститут стандартів (ANSI) опрацьовує питання стандартизації з 1918 року, контролює та координує систему стандартів, які підтримуються добровільно. Представляє інтереси США в ISO та, частково, у Міжнародній електротехнічній комісії (International Electrotechnical Commission, IEC). Комітети у структурі ANSI розробляють стандарти для застосування у США, згодом вони передаються на розгляд комісії з питань стандартів ISO або IEC з перспективою стати міжнародними. Стандартизацію та координацію робіт у галузі зв'язку здійснює технічний комітет E1.

Європейський комітет стандартизації в галузі електротехніки (Comite European de Normalisation ELECTrotechnique, CENELEC). Основна діяльність комітету поширюється на сферу інформаційних технологій. Комітет активно готує функціональні стандарти для взаємодії відкритих систем (OSI), разом з IEC — щодо електротехнічних аспектів, а з Європейським комітетом зі стандартизації (Comite European de Normalisation, CEN) видає європейські стандарти, проекти яких позначаються як ENV, а після випробувального терміну тривалістю 2–3 роки — EN. Комітет відповідає за координацію стандартів із безпеки та електромагнітного випромінювання електричного обладнання в Європейському економічному співтоваристві (ЄЕС) і намагається розробити єдиний набір стандартів для застосування в усіх країнах ЄЕС.

1.4. Органи державного регулювання та управління у сфері використання РЧР України

В Україні державне регулювання та управління у сфері використання РЧР ґрунтується на застосуванні Законів України «Про радіочастотний ресурс України» [24], «Про телекомунікації» [25], «Про ратифікацію Статуту та конвенції Міжнародного союзу електрозв'язку» та інших підзаконних актах. Згідно із Законом України «Про радіочастотний ресурс України» органи державної влади у сфері використання РЧР поділяються так:

- органи державного управління;
- органи державного регулювання.

До органів державного управління належать:

- Кабінет Міністрів України (КМУ);
- Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку (ЦОВЗ).

До органів державного регулювання у сфері використання РЧР України належить Національна комісія з питань регулювання зв'язку та інформатизації України (НКРЗІ). До сфери управління НКРЗІ також входить Державне підприємство «Український державний центр радіочастот» (УДЦР). Крім того, до регуляторних органів також належать Національна рада з питань телебачення та радіомовлення (НРТР) та Генеральний штаб Збройних сил

України (ГШ ЗСУ), повноваження яких визначаються Законом України «Про радіочастотний ресурс України» (додаток 1).

Структура взаємодії органів державного управління та регулювання у сфері використання РЧР України наведено на рис. 1.3.

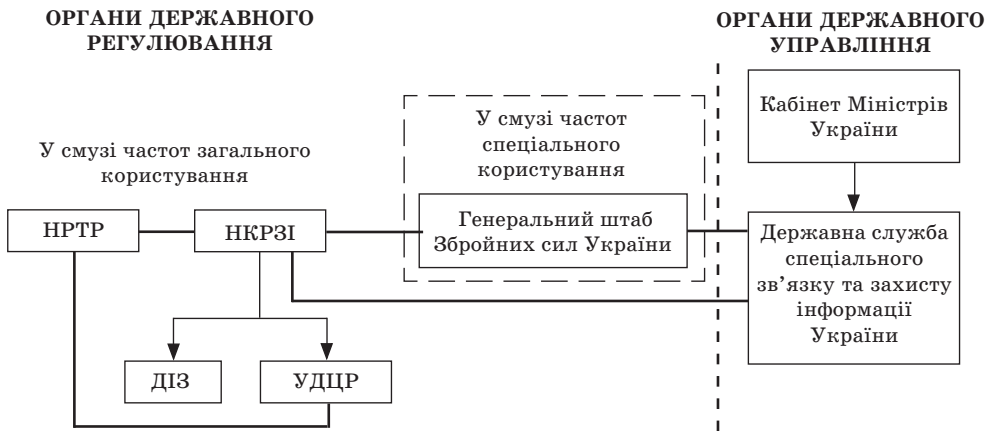


Рис. 1.3. Структура взаємодії органів державного управління та регулювання у сфері використання РЧР України (——— — взаємодія, —> — підпорядкування)

Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку:

- координує реалізацію державної політики у сфері використання РЧР України;
- визначає необхідний і достатній для потреб України РЧР, здійснює заходи щодо його захисту на міжнародному рівні;
- бере участь у створенні державних стандартів із використання РЧР в Україні;
- розробляє проекти законів та інших нормативно-правових актів щодо використання РЧР України;
- організовує проведення досліджень, затверджує плани науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт щодо розподілу, виділення, присвоєння радіочастот, забезпечення ЕМС РЕЗ, а також функціонування системи радіочастотного моніторингу (СРЧН);

Кабінет Міністрів України:

- затверджує Національну таблицю розподілу смуг радіочастот України (НТРЧ) і План використання РЧР України;
- координує діяльність центральних органів виконавчої влади стосовно управління та використання РЧР України;
- забезпечує конверсію РЧР України;
- установлює розміри збору за використання РЧР України.
- виконує обов'язки Адміністрації зв'язку та репрезентує інтереси України в міжнародних установах із питань використання РЧР України.

Держспецзв'язку України:

- є головним органом з формування і забезпечення реалізації державної політики у сферах телекомунікацій, користування РЧР України та в галузі зв'язку;

— визначає у порядку необхідний і достатній для потреб України РЧР, здійснює відповідно до норм міжнародного права заходи щодо його закріплення за Україною і захисту на міжнародному рівні;

— розробляє Національну таблицю розподілу смуг радіочастот України і План використання радіочастотного ресурсу України та подає ці документи на затвердження КМУ;

— виконує функції Адміністрації зв'язку та радіочастот України, здійснює правовий захист інтересів України у міжнародних і регіональних організаціях з питань телекомунікацій і користування РЧР України;

— готує пропозиції щодо адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу з питань функціонування сфери телекомунікацій і користування РЧР;

— розролює прогнози розвитку телекомунікаційних мереж і послуг, сфери користування РЧР України.

Національна комісія з питань регулювання зв'язку та інформамізації України (повноваження обмежуються смугами частот загального користування, додаток 2):

— здійснює ліцензування у сфері використання РЧР України;

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

— бере участь у розробці та узгодженні НТРЧ та Плану використання РЧР України;

— установлює розміри плати за видачу дозволів на експлуатацію РЕЗ та визначає розміри щомісячних зборів за використання РЧР;

— здійснює контроль за проведенням радіочастотного моніторингу;

— установлює порядок реалізації, експлуатації РЕЗ і ВП на території України та порядок їх ввезення з-за кордону;

— здійснює контроль за виконанням Плану використання РЧР України;

— забезпечує проведення конверсії РЧС;

— узгоджує тематичні плани науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт із розподілу, виділення та присвоєння радіочастот, забезпечення ЕМС РЕЗ та функціонування систем радіочастотного моніторингу (СРЧМ);

— забезпечує міжнародну координацію та міжнародний захист частотних присвоєнь, бере участь у роботі МСЕ та інших міжнародних організацій із 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 таку діяльність:

— присвоює радіочастоти та видає дозволи на експлуатацію РЕЗ;

— веде реєстр присвоєнь радіочастот;

— здійснює радіомоніторинг використання РЧР України;

— здійснює заходи із забезпечення ЕМС РЕЗ та ВП;

— здійснює заходи із виявлення та усунення дії джерел радіозавад;

— готує висновки для ухвалення НКРЗ рішень щодо видачі ліцензій на користування РЧР;

— готує висновки для НРТР стосовно можливості та умов використання РЧР для телерадіомовлення;

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

1.5. Державне регулювання у сфері використання РЧР України

Державне регулювання у сфері використання РЧР України здійснюється шляхом упровадження та застосування спеціальних дозвільних процедур на основі 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 стосовно планування використання РЧР.

Планування використання РЧР України здійснюється за ієрархічною багаторівневою схемою, що реалізує поетапну деталізацію характеристик РЕЗ, що їх можна застосувати за різними ознаками від загального до окремого (ступінь рухомості, регіон застосування, власник-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 наведено на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Порядок планування та регулювання використання РЧР України

Верхнім рівнем планування використання РЧР України є розподіл смуг радіочастот між радіослужбами. Нині за різними ознаками виокремлюють до 39 різних радіослужб, зокрема фіксовану, рухома, супутникову, радіолокаційну, радіомовну, морську, сухопутну, повітряну, радіоастрономічну, радіонавігаційну тощо. Утім, варто зазначити, що за існуючою класифікацією деякі радіотехнології можна віднести до двох та більше радіослужб.

На першому етапі процедури регулювання використання РЧР на основі застосування МТРЧ, перспективних планів упровадження радіотехнологій і досліджень ЕМС радіослужб розробляється НТРЧ України. При цьому більшість смуг радіочастот може використовуватися кількома радіослужбами. Тому в НТРЧ зазначається як пріоритетність радіослужб (на первинній або вторинній основі), так і статус смуги частот загального (ЗК) чи 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, додатки 4, 5) примітками, які починаються з літери «В».

Перелік спеціальних користувачів РЧР України (до яких належать 11 відомств, зокрема Міністерство оборони, Служба безпеки, Міністерство внутрішніх справ, Міністерство з надзвичайних ситуацій та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи, Служба зовнішньої розвідки, Управління державної охорони та ін.) визначено Законом України «Про радіочастотний ресурс України».

Чинну нині НТРЧ України ухвалено Постановою Кабінету Міністрів України від 15.12.2005 р. № 1208 [2].

На другому етапі процедури регулювання в межах розподілених смуг радіочастот виділяються смуги частот для визначених радіотехнологій та стандартів зв'язку (із установленням термінів дії або строків розробки, виробництва, модернізації, експлуатації або ввезення з-за кордону). Чинний нині порядок виділення смуг радіочастот ілюструє рис. 1.5.

Виділення радіочастот закріплюється у Плані використання РЧР України [26], який згідно із Законом України «Про радіочастотний ресурс України» розробляється ЦОВЗ на основі пропозицій та із залученням усіх регуляторних органів у сфері використання РЧР (НКРЗІ, УДЦР, ГШ ЗСУ, ДІЗ) та затверджується КМУ.

У процесі виділення смуг радіочастот враховують результати досліджень щодо визначення (розрахунків) ЕМС РЕЗ, які плануються до впровадження, з іншими РЕЗ, які використовують ту саму смугу частот. Це дає змогу надалі здійснювати частотно-територіальне планування застосування даного РЕЗ під час проведення розрахунків ЕМС для присвоєння радіочастот.

Суть ліцензування (рис. 1.6) полягає в отриманні кожним користувачем РЧР спеціального дозволу (ліцензії) на користування конкретним РЕЗ визначеної смуги частот у межах конкретного регіону (під регіоном розуміється одна з 25 областей України, місто Київ чи Севастополь).

Згідно із Законом України «Про радіочастотний ресурс України» ліцензія на використання РЧР для надання телекомунікаційних послуг видається водночас із ліцензією на вид діяльності (за винятком потреб телебачення та звукового мовлення, де підставою для користування РЧР є ліцензія на мовлення). Рішення щодо надання ліцензії ухвалюється НКРЗ за результатами експертизи умов ЕМС заявлених РЕЗ у визначеному регіоні. Таку експертизу здійснює УДЦР. За отримання відповідних висновків та ліцензії

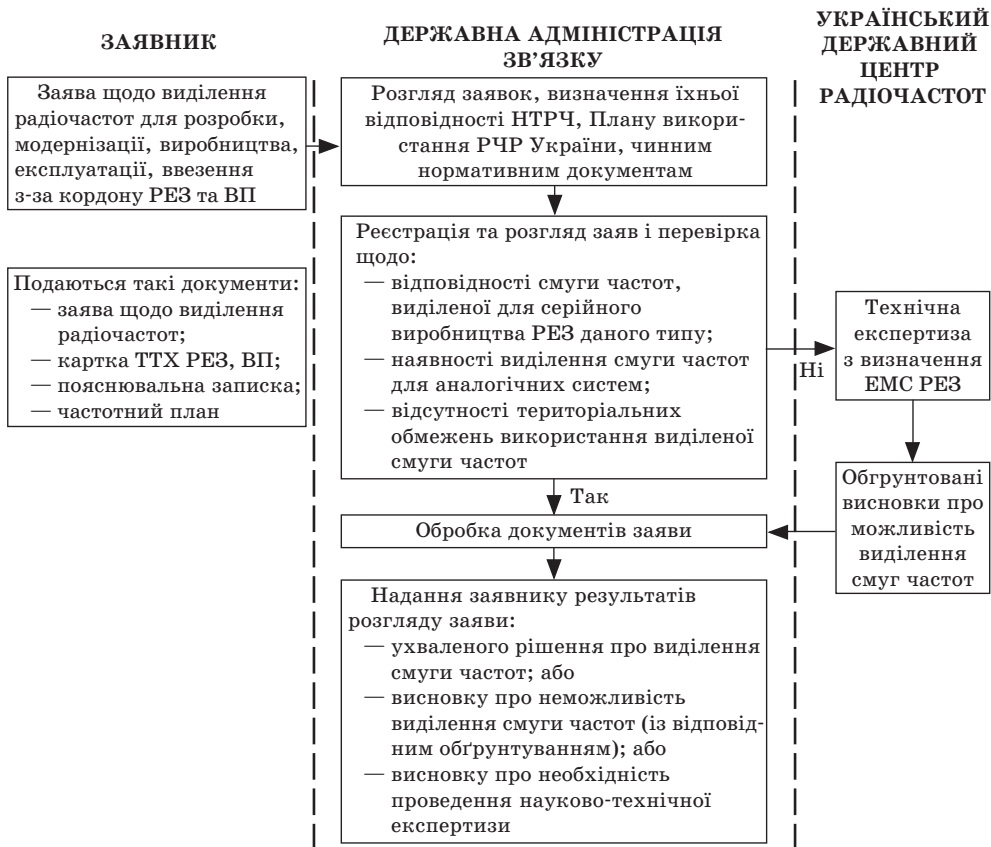


Рис. 1.5. Порядок виділення смуг радіочастот



Рис. 1.6. Загальний порядок ліцензування

заявники сплачують до Держбюджету України одноразові платежі, розміри яких визначені КМУ. Наявність ліцензії є необхідною, але не достатньою умовою для користування РЧР України.

Присвоєння радіочастот (смуг частот, частотних каналів) здійснюється відносно конкретного РЕЗ із визначеними географічними координатами, технічними та експлуатаційними характеристиками: вихідною потужністю передавача, смугою радіочастот, висотою підвішування та поляризацією антени у вертикальній і азимутальній площинах, часом роботи тощо.

Порядок проведення експертизи ЕМС для присвоєння радіочастот РЕЗ загального призначення наведено на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Порядок проведення експертизи ЕМС для присвоєння радіочастот

Нині процедуру присвоєння радіочастот в Україні визначено Положенням про надання висновків стосовно електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів [27]. Вочевидь, це можливо лише за наявності в користувача ліцензії на використання радіочастоти (смуги частот). Присвоєння радіочастот здійснюють:

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

На цьому етапі УДЦР та ГШ ЗСУ виконують ретельну експертизу умов ЕМС (із урахуванням конкретних місць розміщення передавачів, електричних параметрів і характеристик РЕЗ). За потреби вживаються заходи щодо координації з відповідними органами сусідніх держав. Під час розгляду

заявок може проводитися уточнення деяких параметрів і характеристик РЕЗ (потужність, номінальні значення частот і т. ін.). У разі позитивного рішення (після оплати вартості послуг із проведення експертизи ЕМС) етап присвоєння частот РЕЗ завершується отриманням дозволу на експлуатацію РЕЗ.

1.6. Міжнародна таблиця розподілу частот

Міжнародна таблиця розподілу частот (МТРЧ) є одним із найважливіших компонентів Регламенту радіозв'язку (РР). Смуги частот усередині країн розподіляються, зазвичай, із урахуванням або в повній відповідності з МТРЧ. У необхідних випадках адміністрації зв'язку обумовлюють особливості використання радіочастот у даній країні.

МСЕ здійснює розподіл РЧС та реєстрацію присвоєнь радіочастот, забезпечуючи тим самим нормальну роботу радіостанцій різних країн, координує діяльність з усунення завад між ними та підвищення ефективності використання спектра частот.

МТРЧ містить блоки розподілу частот між радіослужбами та примітки до них. Увесь діапазон радіочастот (9 кГц ... 1000 ГГц) розбито на ділянки, розподілені радіослужбам, що їх визначено.

У Регламенті радіозв'язку передбачено два типи розподілу частот:

- винятковий розподіл, коли смугу частот розподілено лише одній радіослужбі;
- спільний розподіл, коли смугу частот розподілено відразу кільком радіослужбам.

Винятковому розподілу надається перевага у випадках, які передбачають широке інтернаціональне використання обладнання, причому його всебічне застосування потребує гармонізації експлуатаційних процедур та технічних методів на міжнародному рівні. Саме так розподілено частоти радіослужбі єдиного часу та еталонних частот.

Спільний розподіл застосовується для максимально можливого використання доступного спектра у випадках, коли кілька радіослужб можуть ефективно працювати в одній і тій самій смузі частот. Регламентні процедури, що регулюють спільне використання смуг радіочастот, розподілених кільком службам радіозв'язку, ґрунтуються на застосуванні технічних критеріїв (як правило, граничних значень).

На основі цих критеріїв визначаються країни, з якими необхідно здійснити координацію для вироблення прийнятних умов спільного використання частот.

Регламент радіозв'язку в частині розподілу частот передбачає поділ світу на три райони. До Району 1 належать країни колишнього СРСР, Монголія, Африка, Європа, частина Азії. До Району 2 — увесь Американський континент і Гренландія; до Району 3 — Австралія, Океанія та частина Азіатського континенту, що не увійшла до Району 1. Крім того, у Регламенті визначено спеціальні зони.

Тропічна зона радіомовлення — між тропіками Рака та Козерога — утворено для служби національного радіомовлення через труднощі, пов'язані з високим рівнем атмосферних завад та особливими умовами поширення радіохвиль у цій зоні. У межах цієї зони радіомовна служба має пріоритет перед іншими радіослужбами, з якими вона спільно використовує низку смуг частот.

Європейська зона радіомовлення — північна частина Району 1 та території, прилеглі до Середземного моря. Оскільки радіомовлення в цьому районі світу здійснюється надзвичайно інтенсивно, довелося створити спеціальні частотні плани та, відповідно, визначити межі зони.

Європейська морська зона — Біле море, південна частина Баренцевого моря, Північне, Балтійське, Середземне та Чорне моря, східна частина Північної та Центральної Атлантики.

МТРЧ має три стовпці для трьох районів світу. Служби наводяться в алфавітному порядку (за французьким алфавітом), причому цей порядок не визначає пріоритету служб.

З огляду на те, що (через різний характер сигналу) спектр різними службами використовується по-різному, для уникнення завад між несумісними службами, а також для забезпечення впорядкованого розвитку радіослужб частоти виділяються для кожної конкретної радіослужби. У деяких випадках частина спектра виділяється для виняткового використання деякою службою, а в інших — діапазон використовується спільно кількома службами.

У МТРЧ кожній службі та розподілу присвоєно одну з двох категорій — первинна чи вторинна. Якщо одну смугу частот розподілено кільком службам, то вони в РР перелічуються в такому порядку:

— *первинні* — у регламенті надруковані великими літерами (наприклад, ФІКСОВАНА);

— *вторинні* — надруковані маленькими літерами (наприклад, рухома).

Станції вторинної служби не повинні спричинювати шкідливих завад щодо станцій первинної служби, якій частоти вже присвоєно або може бути присвоєно пізніше. Вони не можуть вимагати захисту від шкідливих завад із боку станцій первинної служби, якій частоти вже присвоєно або може бути присвоєно пізніше, проте можуть вимагати захисту від шкідливих завад із боку станцій тієї самої чи іншої вторинної служби, якій частоти може бути присвоєно пізніше.

Використовуючи МТРЧ як вихідний матеріал, кожна країна може формувати Національну ТРЧ, вносячи зміни, необхідні для роботи радіослужб, що перебувають під юрисдикцією даної держави.

Зміни та доповнення до МТРЧ ухвалюються Всесвітніми конференціями радіозв'язку МСЕ.

1.7. Плани використання смуг радіочастот

У світі постійно з'являються нові технології радіозв'язку, нові види модуляції, нові способи передавання сигналів і нові технічні вирішення. Саме життя диктує потребу в перегляді розподілу радіочастот. Зважаючи на це, МСЕ періодично організовує Всесвітні (або регіональні) адміністративні радіоконференції з перегляду РР, які перерозподіляють смуги радіочастот між радіослужбами згідно з потребами технічного прогресу. Колись ці конференції відбувалися доволі рідко, приблизно раз на 20 років (у 1959–1979 рр.). Проте згодом було зазначено, що за 20 років нагромаджується велика кількість проблем, розв'язати які за 1–1,5 місяця (саме стільки триває конференція) практично неможливо. Тому нині такі конференції проводяться раз на 2–3 роки (1992, 1995, 1997, 2000, 2003, 2007 рр.).

Одним із найголовніших механізмів захисту прав усіх держав — членів МСЕ щодо рівноправного та справедливого доступу до обмежених ресурсів

(РЧС та геостаціонарної супутникової орбіти є складання планів призначення або присвоєння частот. Такі плани передбачають організоване використання радіочастот у тих чи інших діапазонах згідно з довгостроковими потребами кожної країни, визначеними на основі технічних і/або політичних прогнозів розвитку. Кожний план зазвичай доповнюється описом процедур модифікації плану та заявлення частот.

Такі процедури передбачають задоволення конкретних експлуатаційних вимог, що не відповідають планам, зберігаючи при цьому цілісність самих планів. Існують два типи таких планів:

- всесвітні плани для визначених служб або визначених смуг радіочастот;

- регіональні плани для визначених служб або визначених смуг радіочастот, що застосовуються лише в певних регіонах («районах планування», наприклад Район 1, Європейській зоні мовлення).

У додатку 4 наведено кілька фрагментів із плану використання РЧС України, а в додатку 5 — зміни, внесені в редакції від 24.06.2009 р.

1.8. Міжнародно-правовий захист частотних присвоєнь

Міжнародно-правовий захист частотних присвоєнь РЕЗ і орбітальних позицій космічних апаратів здійснюється з метою створення сприятливих умов розвитку та використання систем радіозв'язку на основі дотримання загальноновизнаних принципів і норм міжнародного права, а також міжнародних договорів України.

Заявлення, координація та реєстрація входять до комплексу робіт із таких напрямків:

- попереднього опублікування в Бюро радіозв'язку (БР) відомостей про заявлені космічні системи (комплекси) та про частотні присвоєння РЕЗ;

- узгодження умов забезпечення ЕМС РЕЗ України та РЕЗ іноземних держав;

- занесення частотних присвоєнь РЕЗ до Міжнародного довідкового реєстру частот, являючи собою частину заходів із міжнародно-правового захисту.

Роботи із заявлення, координації та реєстрації в Бюро радіозв'язку МСЕ частотних присвоєнь РЕЗ України здійснюються згідно з РР, іншими документами МСЕ, дво- та багатосторонніми міжнародними угодами та відповідними рішеннями Адміністрації радіозв'язку.

Заявлення, координація та реєстрація в Бюро радіозв'язку МСЕ частотних присвоєнь РЕЗ України здійснюються в тих випадках, коли:

- використання даної частоти може спричинитися до шкідливих завад РЕЗ якої-небудь служби іншої держави;

- частоту має бути використано для міжнародного радіозв'язку;

- бажано отримати міжнародне визнання використання частоти, а також у інших випадках, передбачених РР.

Функції Адміністрації зв'язку України при здійсненні міжнародної діяльності в галузі зв'язку — виконує ДСС ЗЗІ, яка забезпечує захист інтересів України в міжнародних організаціях, які опікуються питаннями розподілу та використання РЧС.

ДСС ЗЗІ та УДЦР здійснюють проведення робіт із реалізації технічної політики у сфері використання РЧС та забезпечення ЕМС РЕЗ, зокрема

координують дії органів виконавчої влади та юридичних осіб, пов'язані із забезпеченням міжнародно-правового захисту частотних присвоєнь РЕЗ України.

УДЦР забезпечує проведення заходів із заявлення та координації з Адміністраціями зв'язку іноземних держав частотних присвоєнь РЕЗ супутникових і наземних служб, а також їх реєстрації в Бюро радіозв'язку МСЕ.

Важливим елементом управління використанням РЧС на міжнародному рівні є координація частот.

Координацією називають процедуру досягнення згоди між кількома країнами (Адміністраціями зв'язку) щодо спільного використання радіочастот. Мета координації полягає в тому, щоб при введенні в дію нового радіозасобу забезпечити відсутність шкідливих завад між усіма існуючими та планованими системами радіозв'язку. Процедури координації частот можна розглядати як засіб динамічного планування спектрального і/або орбітального ресурсу, який дає змогу забезпечити найбільш ефективне використання останнього.

До процесу координації частот може бути залучено дві або більше країн (Адміністрацій зв'язку). Процес координації включає в себе такі дії:

— визначення прилеглих країн, частотні призначення РЕЗ яких можуть бути заторкнуті, тобто тих, з Адміністраціями зв'язку яких знадобиться попередня координація або укладання координаційної угоди;

— виконання розрахунків параметрів можливих завад із застосуванням рекомендацій та рішень міжнародних організацій зв'язку;

— виконання процедури координації, визначеної Регламентом радіозв'язку, протягом якої окрім іншого проводиться обмін даними у визначеному форматі та в певних обсягах, коментарями протягом попередньо обумовленого терміну. Результати координації за необхідності публікуються у відповідному циркулярі Бюро радіозв'язку.

1.9. Основні положення Регламенту радіозв'язку

У листопаді 1906 року 29 морських держав зібралися на першу Міжнародну радіотелеграфічну конференцію в Берліні для розробки Міжнародної радіотелеграфічної конвенції, де вводився принцип обов'язкового забезпечення зв'язку між суднами, що перебували в морі, і між суднами та сушею. Цю Конвенцію 03.11.1906 року підписали 27 країн, зокрема й Росія.

У додатку до Конвенції містився Регламент, який регулював правила користування безпроводовим телеграфом. Його головна мета — гарантувати забезпечення беззавадових умов для зв'язку берегових та суднових радіостанцій. Тим самим уперше на міжнародному рівні було визнано можливість радіозв'язку для забезпечення безпеки життя на морі, а також прийнято спеціальний сигнал біди — SOS. Цей документ, відомий нині як Регламент Радіозв'язку, є «законодавчим» міжнародним документом із управління використанням радіочастотного спектра та геостаціонарних супутникових орбіт.

Завдяки координації використання обмеженого частотного ресурсу відповідно до РР забезпечено надійну роботу близько 40 різноманітних служб радіозв'язку в усьому світі на частотах від 9 кГц до 400 ГГц.

Регламент містить понад 1000 сторінок інформації щодо спільного використання спектра приблизно для 1 265 000 частотних присвоєнь для назем-

них станцій, 390 000 частотних присвоєнь для 380 геостаціонарних та близько 250 негеостаціонарних супутникових систем поряд із ще 50 000 присвоєнь для 3700 супутникових наземних станцій.

Регламент радіозв'язку виступає як основна міжнародна угода, яка охоплює правила та процедури з експлуатації обладнання радіозв'язку та з організаційного розв'язання проблеми завад.

Таблиця розподілу радіочастот, що міститься у статті 8, слугує основою для розподілу частот на національному рівні.

Як зазначено в преамбулі Регламенту, він спрямований на досягнення таких цілей:

- сприяти рівноправному доступу до природних ресурсів радіочастотного спектра та геостаціонарної супутникової орбіти, а також їх раціональному використанню;
- забезпечити доступність і захист від шкідливих завад частот, призначених для застосування у випадках лиха та з метою безпеки;
- сприяти запобіганню та розв'язанню випадків шкідливих завад між службами радіозв'язку різних адміністрацій;
- сприяти ефективній та дієвій роботі всіх служб радіозв'язку;
- забезпечувати та, за необхідності, регулювати нові застосування технологій радіозв'язку.

Останнє уточнення РР здійснено 2000 року.

Основний зміст Регламенту радіозв'язку:

- Терміни та визначення, як основи мови взаємного спілкування у сфері радіозв'язку країн — учасниць МСЕ, ухвалені з метою несуперечливого тлумачення термінів при практичному застосуванні останніх;

- Класифікація випромінювань, яка дає змогу описати 116 640 видів радіовипромінювань. Принцип класифікації ілюструє табл. 1.2.

- Розподіл частот між службами (аж до 400 ГГц) і загальні правила присвоєння та використання частот; зміни та доповнення до Міжнародної таблиці розподілу частот приймаються наступними Всесвітніми конференціями радіозв'язку.

- Положення щодо заявлення та реєстрації частотних присвоєнь.
- Заходи проти завад та міжнародний контроль випромінювань.
- Сигнали біди, тривоги, терміновості та безпеки.
- Необхідні технічні характеристики деяких видів радіостанцій (припустимі відхилення частоти, норми на рівні побічних випромінювань тощо).

Найбільш значну увагу в Регламенті приділено питанням повітряної та морської рухомих служб, зокрема — питанням підвищення безпеки польотів та мореплавства, ведення радіозв'язку при організації пошуку та рятування тих, хто зазнав лиха або потрапив в аварію. Сигнали біди (SOS) та терміновості (XXX) мають пріоритети перед усіма іншими повідомленнями. Особливу увагу приділено супутниковим службам, які мають глобальний характер, оскільки через свою специфіку вони вимагають більш суворої міжнародної координації.

Примітка. Адміністрація, яка має намір установити супутникову систему, має надіслати до МСЕ-Р не раніше ніж за 5 років і не пізніше ніж за 2 роки до введення в дію цієї системи інформацію, що містить технічні дані запланованої системи. Далі розпочинається доволі тривала та суворо регламентована координувальна процедура, яка (після розв'язання всіх суперечностей з іншими зацікавленими адміністраціями) закінчується реєстрацією присвоєння частоти станції космічної радіослужби в Міжнародному довідковому реєстрі частот.

Класифікація радіовипромінювань

Необхідна ширина смуги	Тип модуляції основної носійної	Характер сигналу, що модулюють основну носійну	Тип передаваної інформації	Вид модулюючого сигналу	Вид розділення каналів
1. Ширина смуги подається трьома цифрами та однією літерою	ВИПРОМІНЮВАННЯ НЕМОДУЛЬОВАНОЇ НОСІЙНОЇ — N ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗА ЯКИХ ОСНОВНА НОСІЙНА МОДУлюється ЗА АМПЛІТУДОЮ (ЗОРЕМА Й І У ВИПАДКАХ, КОЛИ ПІДНОСІЙНІ МАЮТЬ КУТОВУ МОДУляЦІЮ)	Двосмутова — А Односмугтова із повною носійною — Н Односмугтова із послабленою носійною або змінним рівнем носійної — R Односмугтова із подавленою носійною — J Із незалежними бічними смугами — В Із частково подавленою однією з бічних смуг — С	Відсутність передаваної інформації — N Телеграфна для слухового приймання — А Телеграфна для автоматичного приймання — В	Двопозиційний код із різною кількістю елементів, примірор код Морзе — А Двопозиційний код із однаковою кількістю елементів та однаковою тривалістю без виправлення помилок, примірор МТК-5 — В Двопозиційний код із однаковою кількістю елементів та однаковою тривалістю з виправленням помилок — С Чотирипозиційний код, де кожна позиція подає елемент сигналу з одного чи кількох бітів — D Багатопозиційний код, де кожна позиція подає елемент сигналу з одного чи кількох бітів — Е Багатопозиційний код, в якому кожна позиція або комбінація позицій подає знак — F Передавання звуку радіомовної якості монофонічне — G Передавання звуку радіомовної якості стерео- або квадрофонічне — H Передавання звуку із прийнятною для комерційного зв'язку якістю (окрім К та L, див. далі) — J Передавання звуку із прийнятною для комерційного зв'язку якістю при використанні інверсії частот або розщеплення смуги — K Передавання звуку з прийнятною для комерційного зв'язку якістю при використанні окремих частотомодульованих сигналів для керування рівнем демодулюючого сигналу — L Монохромний сигнал — M Кольоровий сигнал — N Непередбачені випадки — X	Без розділення каналів — N Кодове, у тому числі методи розширення спектра — С Частотне розділення — F Часове розділення — T Посадження часового розділення — W Інші види розділення — X
2. П'ятеро займає положення коми та зазначає одиницю вимірюваної величини ПРИКЛАДИ. 524 Гц-524 Н 52,4 Гц-52Н4 6 кГц-6К00 180,7 кГц-180 К7 1,25 МГц-1М25 5,65 ГГц-5Г65	ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗА ЯКИХ ОСНОВНА НОСІЙНА АМПЛІТУДУ ТА КУТОВУ МОДУляЦІЮ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗА ЯКИХ ОСНОВНА НОСІЙНА МАЄ КУТОВУ МОДУляЦІЮ Частотна модуляція — F Фазова модуляція — O ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗА ЯКИХ ОСНОВНА НОСІЙНА АМПЛІТУДУ ТА КУТОВУ МОДУляЦІЮ ПОСЛІДОВНОСТІ — D ІМПУльСНІ ВИПРОМІНЮВАННЯ: — немодульованих імпульсів — P — модульованих за амплітудою — K — модульованих за шириною та тривалістю — L — модульованих за піриною або фазою — M — за якої носійна має кутову модуляцію під час передавання імпульсів — Q — яка поєднує зазначені раніше способи або здійснюється іншими методами — V Інші випадки, за яких випромінювання складається з носійної, модульованої водночас або в наперед визначений послідовності, є результатом поєднання двох або більше таких методів модуляції: амплітудної, кутової, імпульсної — W Інші випадки — X	Відсутність модулюючого сигналу — O Один канал, що містить квантовану або цифрову інформацію без використання модулюючої підносійної, за винятком часового розділення каналів — 1 Один канал, що містить квантовану або цифрову інформацію при використанні модулюючої підносійної, за винятком часового розділення каналів — 2 Один канал із аналоговою інформацією — 3 Два та більше каналів, що містять квантовану або цифрову інформацію — 7 Два та більше каналів із аналоговою інформацією — 8 Складна система з одним або кількома каналами, які містять квантовану інформацію спільно з одним чи кількома каналами, що містять аналогову інформацію — 9 Інші випадки — X	Відсутність передаваної інформації — N Телеграфна для слухового приймання — А Телеграфна для автоматичного приймання — В Передавання даних, телеметрії, телекерування — D Телефонна, у тому числі радіомовлення — Е Телебачення — F Посадження зазначених раніше типів — W Інші випадки — X	Двопозиційний код із різною кількістю елементів, примірор код Морзе — А Двопозиційний код із однаковою кількістю елементів та однаковою тривалістю без виправлення помилок, примірор МТК-5 — В Двопозиційний код із однаковою кількістю елементів та однаковою тривалістю з виправленням помилок — С Чотирипозиційний код, де кожна позиція подає елемент сигналу з одного чи кількох бітів — D Багатопозиційний код, де кожна позиція подає елемент сигналу з одного чи кількох бітів — Е Багатопозиційний код, в якому кожна позиція або комбінація позицій подає знак — F Передавання звуку радіомовної якості монофонічне — G Передавання звуку радіомовної якості стерео- або квадрофонічне — H Передавання звуку із прийнятною для комерційного зв'язку якістю (окрім К та L, див. далі) — J Передавання звуку із прийнятною для комерційного зв'язку якістю при використанні інверсії частот або розщеплення смуги — K Передавання звуку з прийнятною для комерційного зв'язку якістю при використанні окремих частотомодульованих сигналів для керування рівнем демодулюючого сигналу — L Монохромний сигнал — M Кольоровий сигнал — N Непередбачені випадки — X	Без розділення каналів — N Кодове, у тому числі методи розширення спектра — С Частотне розділення — F Часове розділення — T Посадження часового розділення — W Інші види розділення — X

На основі Регламенту радіозв'язку розробляються регіональні (наприклад, загальноєвропейський) та внутрішньодержавні плани частот, згідно з якими:

- виділяються та присвоюються частоти службам і відомствам із урахуванням місцевих умов та державних (регіональних) інтересів;
- реалізується технічне планування використання виділених ділянок спектра та розміщення випромінювальних радіозасобів;
- контролюється виконання вимог РР та принципів технічного планування, а також накладаються адміністративні санкції.

Для позначення різних статусів смуг радіочастот у міжнародній практиці використовують такі терміни, що стосуються використання спектра: *розподіл, виділення та присвоєння радіочастот*.

Розподіл смуги частот — запис у Таблиці розподілу частот певної заданої смуги частот із метою її використання однією чи кількома наземними або космічними службами радіозв'язку чи радіоастрономічною службою на певних умовах.

Цей термін стосується радіослужб. Документом, що фіксує розподіл частот, є Таблиця розподілу частот із Примітками. Вони формують основний зміст статті 8 Регламенту радіозв'язку. Примітки до Таблиці мають таку саму силу, що й Таблиця.

Виділення радіочастоти (радіочастотного каналу) — запис певного частотного каналу в узгодженому плані, ухваленому компетентною конференцією, із метою використання його однією або кількома адміністраціями для наземної чи космічної служби радіозв'язку в одній чи кількох зазначених країнах або географічних зонах за визначених умов. Термін стосується країни або групи країн (зони). Документом, що реалізує виділення радіочастот, є всесвітній або регіональний план, який охоплює певну радіослужбу.

Присвоєння радіочастоти (радіочастотного каналу) — дозвіл, що видається адміністрацією деякої радіостанції на використання радіочастоти (радіоканалу) на визначених умовах. Застосування цього терміна стосується радіостанцій.

Кожна країна може вводити такий порядок використання виділених для неї частот, який вона вважає доцільним, зберігаючи при цьому повну свободу навіть стосовно радіозасобів військового призначення. Уряди більшості країн у мирний час суворо дотримуються вимог та положень Регламенту радіозв'язку.

Іноді з урахуванням положень РР розробляються національні регламенти радіозв'язку, де враховуються особливості використання радіочастотного ресурсу в даній країні.

1.10. Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України

Національна таблиця розподілу смуг радіочастот (НТРЧ) України регламентує розподіл смуг радіочастот радіослужбам в Україні та визначає смуги радіочастот спеціального та загального користування.

Згідно з НТРЧ, затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України від 15.12.05 р. № 1208, верхня розподілена частота становить 275 ГГц, тоді як смуга частот 275...1000 ГГц, хоча її й зазначено в таблиці, лишається нерозподіленою.

НТРЧ України розробляється ЦОВЗ на основі РР МСЕ з урахуванням пропозицій та за участю Національної комісії з питань регулювання зв'язку та інформатизації України, Національної Ради України з питань ТБ та РМ, Генерального штабу Збройних сил України та інших зацікавлених органів державної влади.

НТРЧ України визначає:

- розподіл смуг радіочастот між радіослужбами та згідно з РР МСЕ;
- поділ смуг радіочастот на смуги спеціального та загального користування.

Національна таблиця розподілу смуг частот між радіослужбами є базовим документом, що регламентує розподіл та умови використання частот в Україні юридичними та фізичними особами, які замовляють, розробляють або закуповують за кордоном РЕЗ, а також здійснюють планування використання частот для діючих РЕЗ. Утім НТРЧ не надає права використовувати смуги (номінали) частот для розробки, виробництва, ввезення з-за кордону та експлуатації РЕЗ без отримання належним чином оформленого дозволу відповідного органу — УДЦР.

У НТРЧ наведено у вигляді таблиці розподіл смуг частот між різними радіослужбами з урахуванням виділення смуг частот для різних технологій радіозв'язку. У графі 1 цієї таблиці наводиться розподіл смуг частот та номери приміток міжнародного Регламенту радіозв'язку для Району 1. У графі 2 зазначено смуги частот та радіослужби, яким розподілено ці смуги в Україні, а також номери приміток, де уточнено умови використання смуг (номіналів) частот в Україні. Текст приміток, зазвичай, наводиться на сторінці, що йде за таблицею, в якій ці примітки згадуються вперше. У графі 3 зазначається категорія користування смуг, а саме:

- СК — смуга частот, призначена виключно для користування РЕЗ спеціального призначення;
- ЗК — смуга частот, призначена для переважного використання РЕЗ цивільного призначення.

У категорії СК виділення смуг радіочастот РЕЗ для потреб державного управління, зокрема президентського та урядового зв'язку, потреб оборони країни, безпеки держави та забезпечення правопорядку, здійснює Міністерство оборони України.

Виділення смуг радіочастот здійснюється рішеннями Національної комісії з питань регулювання зв'язку згідно з принципом неприпустимості безстрокового виділення смуг радіочастот.

Як і в МТРЧ, служби, наведені у графах 1 та 2 Національної ТРЧ, можуть мати дві категорії пріоритетності: первинні та вторинні. Первинні служби надруковано в таблиці великими літерами (наприклад, *ФІКСОВАНА*), а вторинні — маленькими літерами (наприклад, *рухома*).

1.11. Державна технічна політика користування РЧС

У колишньому СРСР організація системи управління користуванням РЧС спрямовувалася на задоволення потреб урядових служб та силових відомств. Лише 4% частотного спектра призначалися для користування переважно цивільними радіозасобами, інші 96% використовувалися або спільно, або переважно в інтересах національної оборони та безпеки. Такий підхід до використання РЧС створював серйозні перешкоди для розвитку в Україні

систем радіозв'язку цивільного призначення та мовлення. У підсумку такої технічної політики НТРЧ мала тоді серйозні відмінності від Регламенту ра-діозв'язку МСЕ, які існують і досі.

Протягом останнього десятиріччя ХХ століття явною стала тенденція економічної та технологічної інтеграції різних країн світу. Така інтеграція інтенсивно відбувається й у Європі. У сфері телекомунікацій це виявляється, зокрема, у тому, що в усіх європейських країнах упроваджується однотипне обладнання радіозв'язку та мовлення, розроблене за стандартами Європейського інституту стандартизації в галузі електров'язку (ETSI), та здійснюється єдина технічна політика використання РЧС усіма державами континенту. Цю технічну політику відбито, зокрема, у розробленій європейськими країнами регіональній ТРЧ, яка, починаючи з 2011 року, визначає використання РЧС у всіх державах Європи.

Питання про гармонізацію використання частотного ресурсу вельми важливе для світового співтовариства. Однією з провідних міжнародних тенденцій є прагнення європейських держав – членів СЕРТ до узгодженого використання РЧС у рамках Європи. Нині закладаються основи європейської співпраці у сфері використання частотного ресурсу за участю більшості європейських держав, до яких, зрозуміло, долучається й Україна.

У США та країнах, що входять до блоку НАТО, частка РЧС, яка використовується для РЕЗ урядового призначення та повністю задовольняє запити служб, що забезпечують потреби оборони й національної безпеки, становить близько 30%. Решта частотного ресурсу відводиться переважно для служб цивільного призначення. У Європі протягом 1999–2000 років було проведено поглиблені дослідження питань перспективного використання РЧС та ухвалено рішення Європейського радіобюро, згідно з якими встановлювався графік вивільнення смуг частот, необхідних для розвитку багатьох перспективних технологій радіозв'язку та мовлення, зокрема РЕЗ урядового призначення та застарілих РЕЗ цивільного призначення.

В Україні згідно з Постановами Уряду проводяться роботи, спрямовані на максимально можливе зближення розподілу та умов використання національного РЧС із установленими Регламентом радіозв'язку МСЕ розподілом та відповідними умовами використання радіочастот для Району 1. Варто зазначити, що таке зближення потребує проведення доволі масштабних дослідницьких робіт, підсумком яких має стати створення технічної та правової бази для перегляду використання РЧС різними службами в Україні.

Нині в Україні проводяться техніко-економічні дослідження, за результатами яких можна буде дати оцінку витрат, пов'язаних із виведенням низки РЕЗ із тих смуг частот, які в перспективі будуть виділятися в Україні для впровадження та розвитку нових технологій зв'язку та мовлення. Ухвалено Програму переведення радіотехнічної системи близької навігації та посадки з діапазону 900 МГц до міжнародного діапазону частот.

Триває виконання широкого комплексу робіт, пов'язаних із впровадженням перспективних технологій зв'язку та мовлення. Уже ухвалено понад два десятки рішень НКРЗ із проблем створення систем сухопутного рухомого зв'язку 3-го покоління, цифрового телебачення та радіомовлення, а також стосовно переходу від аналогових систем радіозв'язку та мовлення до цифрових.

Останніми роками тривала й робота з розв'язання питань щодо ефективнішого використання РЧР (з ощадливим використанням радіочастот) для розвитку перспективних радіотехнологій цивільного призначення у найбільш зручних і освоєних діапазонах.

Інший напрямок досліджень полягає у відшуканні можливостей та розробці умов одночасного спільного використання конкретних смуг частот кількома службами. Із цією метою виконано дослідження з визначення умов сумісності різних РЕЗ, що дало змогу розробити чи уточнити норми частотно-територіального рознесення та намітити конкретні заходи щодо забезпечення електромагнітної сумісності низки РЕЗ цивільного та військового застосування.

На виконання рішень Всесвітніх конференцій радіозв'язку 1997, 2000, 2003 та 2007 років нині проводиться коригування НТРЧ України між радіо-службами в діапазоні частот від 9 кГц до 1000 ГГц.

Останнім часом дедалі зростає інтерес до проблеми перерозподілу частот у світі (реформування РЧС). Технологічні досягнення в галузі цифрового звукового мовлення та у сфері рухомого зв'язку UMTS/IMT-2000 вже найближчим часом спонукатимуть до змін у підходах до розподілу смуг частот діапазону 862...3400 МГц. Це, у свою чергу, потягне за собою зміни в розподілі частот для інших служб та систем.

Утім перерозподіл смуг частот є тривалим засобом управління використанням РЧС, що слугує для стратегічного планування спектра, націленого на його ефективне використання та на міжнародну гармонізацію цього процесу.

ЗАДАЧІ

Задача 1. Які діапазони частот понад 47 МГц розподілено радіомовній службі (наземній) згідно з Національною та Міжнародною таблицями розподілу частот для Району 1? Визначити та порівняти ємність цих діапазонів за умови, що смуга частот каналу дорівнює 40 МГц.

Розв'язання. Ємність (місткість) Q будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіоканалів, розміщених у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max} , F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Згідно з Національною та Міжнародною таблицями розподілу частот для Району 1 радіомовній службі (наземній) понад 10 ГГц розподілено такі діапазони частот:

- 11,7...12,5 ГГц;
- 40,5...41,0 ГГц;
- 41,0...42,5 ГГц;
- 74,0...76,0 ГГц.

Ємність діапазону частот 11,7...12,5 ГГц становить

$$Q_1 = \frac{12500 - 11700}{40} = \frac{800}{40} = 20.$$

Для діапазону частот 40,5...41,0 ГГц відповідна ємність дорівнює

$$Q_2 = \frac{41000 - 40500}{40} = \frac{500}{40} = 12,5 \approx 12.$$

Для діапазону частот 41,0...42,5 ГГц зазначена ємність визначається так:

$$Q_3 = \frac{42500 - 41000}{40} = \frac{1500}{40} = 37,5 \approx 37.$$

Нарешті, для діапазону частот 74,0...76,0 ГГц маємо:

$$Q_4 = \frac{76000 - 74000}{40} = \frac{2000}{40} = 50.$$

Найбільшу ємність має діапазон 74,0...76,0 ГГц, причому вона становить 50 смуг спектра (каналів).

В і д п о в і д ь. Радіомовній службі (наземній) розподілено такі діапазони частот: 11,7...12,5 ГГц (20 каналів); 40,5...41,0 ГГц (12 каналів); 41,0...42,5 ГГц (37 каналів) і 74,0...76,0 ГГц (50 каналів).

Задача 2. Які діапазони частот понад 47 МГц розподілено радіомовній супутниковій службі згідно з Національною та Міжнародною таблицями розподілу частот для Району 1? Визначити та порівняти ємність цих діапазонів за умови, що смуга частот каналу дорівнює 36 МГц.

Розв'язання. Згідно з Національною та Міжнародною таблицями розподілу частот для Району 1 радіомовній супутниковій службі понад 10 ГГц розподілено такі діапазони частот:

- 11,7...12,5 ГГц;
- 21,4...22,0 ГГц;
- 40,5...41,0 ГГц;
- 41,0...42,5 ГГц;
- 74,0...76,0 ГГц.

Ємність діапазону частот 11,7...12,5 ГГц визначається так:

$$Q_1 = \frac{12500 - 11700}{36} = \frac{800}{36} = 22,2 \approx 22.$$

Для діапазону частот 21,4...22,0 ГГц відповідна ємність така:

$$Q_2 = \frac{22000 - 21400}{36} = \frac{600}{36} = 16,7 \approx 16.$$

Для діапазону 40,5...41,0 ГГц маємо:

$$Q_3 = \frac{41000 - 40500}{36} = \frac{500}{36} = 13,9 \approx 13.$$

Для діапазону частот 41,0...42,5 ГГц маємо:

$$Q_4 = \frac{42500 - 41000}{36} = \frac{1500}{36} = 41,7 \approx 41.$$

Для діапазону частот 74,0...76,0 ГГц дістаємо:

$$Q_5 = \frac{76000 - 74000}{36} = \frac{2000}{36} = 55,6 \approx 55.$$

Найбільшу ємність має діапазон 74,0...76,0 ГГц, причому вона становить 55 смуг спектра (каналів).

В і д п о в і д ь. Радіомовній супутниковій службі розподілено такі діапазони частот: 11,7...12,5 ГГц (22 канали); 21,4...22,0 ГГц (16 каналів); 40,5...41,0 ГГц (13 каналів); 41,0...42,5 ГГц (41 канал) і 74,0...76,0 ГГц (55 каналів).

Задача 3. Навести приклади позначень радіовипромінювань для телебачення, супутникового та радіорелейного зв'язку. Пояснити значення кожного символу.

Розв'язання. У системі аналогового телемовлення використовуються сигнали з такими каналами радіовипромінювання:

- для передавання відео — 7M63C3F;
- для передавання звукового супроводу — 250KF3EGN.

У системах цифрового телемовлення стандарту DVB-T використовуються сигнали з класами радіовипромінювання:

- для передавання відео — 7M61X7WWX;
- для передавання звукового супроводу — 8M00X7WWX.

У системах цифрового стільникового зв'язку GSM900 і DCS-1800 використовуються класи радіовипромінювання 271KF7W; 271KG7W.

Окрім того, для GSM900 використовуються класи радіовипромінювання 200KG7W, 200KG7CD, а для DCS-1800 — клас 200KG7TD.

У системах цифрового стільникового зв'язку CDMA-800 і CDMA-450 в Україні використовується класи радіовипромінювання 1M23G4D.

Задача 4. Обчислити місткість III і IV діапазонів, використовуваних для телевізійного мовлення.

Розв'язання. Ємність (місткість) Q будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів, уміщуваних у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max} , F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Верхні F_{\max} і нижні F_{\min} граничні частоти даних діапазонів, задані відповідно III і IV діапазонами, такі:

— для діапазону III (канали 6 — 12 ТВ) — відповідно 230 і 174 МГц;

— для діапазону IV (канали 21 — 34 ТВ) — відповідно 582 і 470 МГц.

Необхідна ширина смуги спектра для телевізійного мовлення дорівнює 8 МГц.

Отже, маємо:

$$Q = \frac{(230 - 174) + (582 - 470)}{8} = \frac{56 + 112}{8} = 21.$$

В і д п о в і д ь. Сумарна ємність III і IV діапазонів становить 21 смугу спектра (що дорівнює кількості каналів) для телевізійного мовлення.

Задача 5. Обчислити ємність мікрохвильового діапазону 3,4...3,6 ГГц, використовуваного системою WiMAX для передавання даних у стандарті 802.16 с із класом випромінювання 3M50G7D.

Розв'язання. Ємність (місткість) Q будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів, уміщуваних у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max} , F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Верхня F_{\max} і нижня F_{\min} граничні частоти даного діапазону, задані діапазоном 3,4...3,6 ГГц, становлять відповідно 3600 і 3400 МГц.

Необхідна ширина смуги спектра визначається заданим класом випромінювання 3M50G7D і дорівнює 3,5 МГц.

Отже, маємо:

$$Q = \frac{3600 - 3400}{3,5} = 57.$$

В і д п о в і д ь. Ємність мікрохвильового діапазону 3,4...3,6 ГГц становить 57 смуг спектра.

Задача 6. Обчислити ємність діапазону частот 2,4...2,4835 ГГц, використовуваного для цифрового зв'язку розподільного типу із класом випромінювання 2MOOGDX.

Розв'язання. Ємність (місткість Q) будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів, розміщених у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max}, F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Верхня F_{\max} і нижня F_{\min} граничні частоти діапазону, задані діапазоном 2,4...2,4835 ГГц, дорівнюють відповідно 2483,5 і 2400,0 МГц.

Необхідна ширина смуги спектра визначається заданим класом випромінювання 2M50G7DX і дорівнює 2,0 МГц.

Остаточо маємо:

$$Q = \frac{2483,5 - 2400,0}{2,0} = \frac{83,5}{2,0} = 41,75 \approx 41.$$

В і д п о в і д ь. Ємність мікрохвильового діапазону 2,4...2,4835 ГГц становить 41 смуги спектра.

Задача 7. Обчислити ємність діапазонів частот 48,5...66 і 76...100 МГц, використовуваних для радіомовлення з класом випромінювання 250KF3EGN.

Розв'язання. Ємність (місткість) Q будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів, розміщених у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max}, F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Верхні F_{\max} і нижні F_{\min} граничні частоти діапазонів, задані відповідно діапазонами частот 48,5...66 МГц і 76...100 МГц, визначаються так:

— для діапазону 48,5...66 МГц — відповідно 66 і 48,5 МГц;

— для діапазону 76...100 МГц — відповідно 100 і 76 МГц.

Необхідна ширина смуги спектра визначається заданим класом випромінювання 250kF3EG11 і дорівнює 250 кГц.

Остаточо маємо:

$$Q = \frac{(66 - 48,5) + (100 - 76)}{0,25} = \frac{17,5 + 24}{0,25} = 166.$$

В і д п о в і д ь. Сумарна ємність діапазонів частот 48,5...66 МГц і 76...100 МГц для радіомовлення становить 166 смуг спектра.

Задача 8. Обчислити ємність мікрохвильового діапазону 11,7...12,5 ГГц, використовуваного для наземного багатоканального мовлення системою МИТРИС із класом випромінювання 40MOG7FDF.

Розв'язання. Ємність (місткість) Q будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів, розміщених у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max}, F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Верхня F_{\max} і нижня F_{\min} граничні частоти діапазону, задані діапазоном 11,7...12,5 ГГц, дорівнюють відповідно 12500 і 11700 МГц.

Необхідна ширина смуги спектра визначається заданим класом випромінювання 40M0G7FDF і дорівнює 240 МГц.

Остаточно маємо:

$$Q = \frac{12500 - 11700}{40} = \frac{800}{40} = 20.$$

В і д п о в і д ь. Ємність мікрохвильового діапазону частот 11,7...12,5 ГГц становить 20 смуг спектра (каналів).

Задача 9. Обчислити ємність мікрохвильового діапазону 10,7...11,7 ГГц, використовуюваного супутниковими системами зв'язку для безпосереднього мовлення з шириною спектра каналів 36 МГц.

Розв'язання. Ємність (місткість) Q будь-якого діапазону визначається максимальною кількістю смуг спектра радіосигналів, уміщуваних у даному діапазоні в даний час на даній території, і (за умови одноразового використання частотного ресурсу) обчислюється за формулою

$$Q = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta F_{\text{сигн}}},$$

де F_{\max}, F_{\min} — відповідно верхня і нижня гранична частота даного діапазону; $\Delta F_{\text{сигн}}$ — необхідна ширина смуги спектра радіосигналу.

Верхня F_{\max} і нижня F_{\min} граничні частоти діапазону, задані діапазоном 10,7...11,7 ГГц, становлять відповідно 11700 і 10700 МГц.

Необхідна ширина смуги спектра визначається заданим класом випромінювання 36M0G7FDF і становить 36 МГц.

Остаточно маємо:

$$Q = \frac{11700 - 10700}{36} = \frac{1000}{36} = 27,8 = 27.$$

В і д п о в і д ь. Ємність мікрохвильового діапазону частот 10,7...11,7 ГГц для супутникового мовлення становить 27 смуг спектра (каналів).

Задача 10. Подати в децибелах значення наведених у табл. 1 і 2 чисел.

Розв'язання. Дуже великі та дуже малі значення величин у радіотехніці

Таблиця 1

N	1,01	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Значення N , дБ										
N	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Значення N , дБ										
N	7,0	8,0	9,0	10,0	20	30	40	50	100	
Значення N , дБ										

Таблиця 2

P , Вт	1	2	3	25	30	50	100	1000	0,5	1	0,5	0,1	0,01	0,001
P , дБВт														

подають у децибелах. Відношення $N = N_1/N_2$ двох величин N_1 і N_2 , що мають однакову розмірність, у децибелах подають так:

$$N[\text{дБ}] = 10\lg N.$$

Наприклад, відношення потужностей сигнал/шум $h^2 = P_c/P_{\text{ш}}$ у децибелах набирає вигляду

$$h^2 = 10\lg(P_c/P_{\text{ш}}).$$

Для відеоімпульсів і шумів у відеотракті можна записати

$$P_c/P_{\text{ш}} = U_c^2/U_{\text{ш}}^2,$$

де U_c — потужність сигналу на одиничному опорі; $U_{\text{ш}}$ — ефективна напруга шуму. Тоді маємо:

$$h^2 = 10\lg(P_c/P_{\text{ш}}) = 10\lg(U_c/U_{\text{ш}})^2 = 20\lg(U_c/U_{\text{ш}}).$$

У багатьох випадках зручно у відношенні двох величин N_1/N_2 взяти $N_2 = 1$, наприклад 1 Вт, 1 градус тощо. Тоді відповідно N має розмірність дБВт, дБград тощо.

Якщо, скажімо, $N_2 = 1$ мВт, то розмірність N у децибелах подається як дБм (децибел міліват).

Таблиця 1

N	1,01	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Значення N , дБ	0,045	0,086	0,17	0,25	0,33	0,41	0,79	1,14	1,46	1,76
N	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Значення N , дБ	2,04	2,30	2,55	2,79	3,0	3,98	4,77	6,02	6,99	7,78
N	7,0	8,0	9,0	10,0	20	30	40	50	100	
Значення N , дБ	8,45	9,03	9,54	1,0	13,0	14,8	16,02	17,0	20,0	

Таблиця 2

P , Вт	1	2	3	25	30	50	100	1000	0,5	1	0,5	0,1	0,01	0,001
P , дБВт	0	3,0	4,77	13,98	14,77	16,99	20	30	-3,0	30	26,99	20	10	0

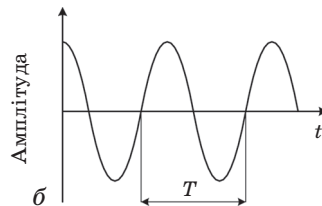
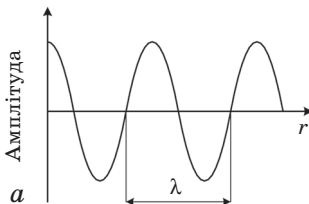
Задача 11. Накреслити графік гармонічного коливання як функції відстані. Зазначити довжину хвилі λ цього коливання.

Накреслити графік гармонічного коливання як функції часу. Зазначити період T цього коливання. Установити зв'язок між λ і T , а також між λ і частотою f гармонічного коливання.

f , ГГц	0,3	1	3	6	12	20	30	44	100	300
λ , см	100	30	10	5	2,5	1,5	1,0	0,68	0,3	0,1

Розв'язання. Якщо швидкість поширення електромагнітних коливань (зокрема й світла) $c = 300\,000$ км/с, то за час одного періоду T коливання електромагнітна хвиля долає відстань, що дорівнює довжині хвилі λ , тобто $cT = \lambda$. Частота коливань $f = 1/T$, звідки дістаємо $\lambda = c/f$. Якщо подати λ в сантиметрах, а частоту f у гігагерцах, то відповідна рівність набере вигляду

$$\lambda = 30/f.$$



Гармонічне коливання як функція: а — відстані; б — часу

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Викладіть скорочений зміст поняття «радіочастотний спектр».
2. За яким принципом здійснено розподіл частотного спектра на діапазони?
3. Доведіть, що діапазони з великими номерами мають більшу частотну (канальну) ємність (місткість).
4. Як використовується електромагнітний спектр у мікрохвильовій техніці?
5. Поясніть структуру та функції кожного із секторів МСЕ.
6. Чим опікуються міжнародні організації ETSI, CEPT?
7. Викладіть стисло зміст Регламенту радіозв'язку.
8. Яка інформація закладається у класифікацію радіовипромінювань?
9. Наведіть три-п'ять прикладів радіовипромінювань для телебачення, супутникового та радіорелейного зв'язку.
10. У чому полягає відмінність понять «розподіл смуги частот», «виділення радіочастоти» та «присвоєння радіочастоти»?
11. Що таке «радіослужба»? Наведіть класифікацію радіослужб. Чому для радіослужб розподілено різні ділянки радіоспектра?
12. У чому полягають особливості використання радіочастотного ресурсу порівняно з іншими природними ресурсами?
13. Якими є особливості використання радіочастотного ресурсу?
14. Що означає термін «управління використанням РЧС»?
15. Перелічіть основні керівні документи з управління використанням РЧС.
16. Якими є базові концепції міжнародного РР та що собою являє РР?
17. Чим визначається верхня межа спектра радіочастот, який регулюється в міжнародному та національному масштабах?
18. Що розуміють під поняттям «Адміністрація зв'язку»?
19. На скільки районів та зон поділено країни світу відповідно до розподілу радіочастот?
20. Які радіослужби є первинними та що визначає вторинність радіослужби?
21. Наведіть структуру Міжнародної ТРЧ.
22. Скільки та які категорії радіослужб внесено до ТРЧ?
23. Чи можуть спричинитися до шкідливих завад станціям первинної служби станції вторинної служби? Відповідь поясніть.
24. Які плани застосовуються у практиці МСЕ та які є невід'ємною частиною РР?
25. Для чого використовують такі елементи управління використанням РЧС, як координація та реєстрація частотних присвоєнь РЕЗ?
26. Частотні присвоєння яких служб РЕЗ не підлягають обов'язковій координації?
27. Які основні документи регламентують систему управління використанням РЧС на національному рівні?

28. Наведіть структуру Національної ТРЧ.
29. Сформулюйте визначення категорій використання смуг частот.
30. Наведіть порядок виділення смуг радіочастот.
31. У чому полягають основні принципи та положення державної технічної політики у сфері використання РЧС?
32. Що таке підвищення ефективності використання спектра?
33. Якими основними керівними документами необхідно користуватися при проведенні координації частотних присвоєнь системам радіозв'язку та мовлення?
34. Що являє собою Частотний реєстр?
35. В яких випадках необхідна координація частотних присвоєнь?
36. Якими є основні часові обмеження при проведенні координації частотних присвоєнь?
37. Які основні умови мають виконуватися при координації?
38. У чому полягає суть процедури частотних присвоєнь?
39. В яких випадках Адміністрація зв'язку прилеглої сторони може відхилити запит на координацію?
40. Які основні Рекомендації використовуються в країнах СЕРТ для проведення прикордонної координації?

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ РАДІОЛІНІЇ. ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ РІЗНИХ ДІАПАЗОНІВ

2.1. Основне рівняння для енергетичного розрахунку радіолінії

У телекомунікаціях найпростішу систему передавання інформації можна подати в такому вигляді, як це зображено на рис. 2.1, а. Середовище поширення радіохвиль (ПРХ) «з'єднує» передавач та приймач (за аналогією з напрямними лініями електропроводового зв'язку). Тому це середовище можна назвати *лінією зв'язку*.

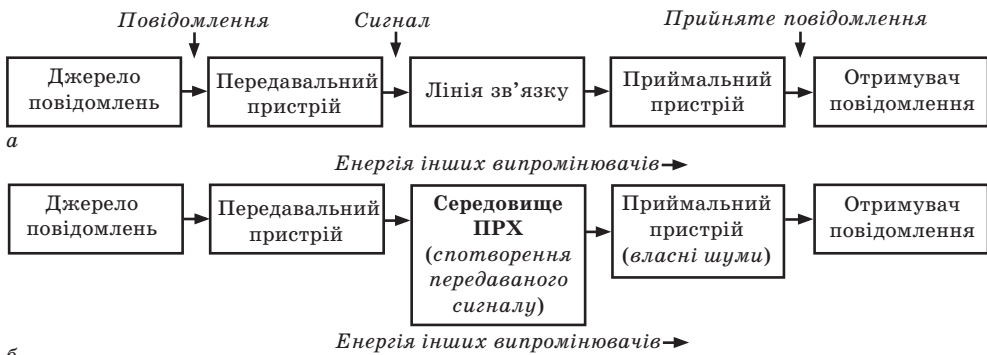


Рис. 2.1. Місце середовища поширення радіохвиль у системі безпроводового зв'язку

Лінію безпроводового зв'язку утворює увесь відкритий простір навколо Землі, тобто ця лінія зв'язку є спільною та єдиною для всього багатомільярдного населення нашої планети — користувачів РЧР.

У цьому середовищі розміщуються електромагнітні поля всіх випромінювачів на Землі та навіть надходить випромінювання із-за меж Сонячної системи (рис. 2.1, б). З огляду на це при розгляді питань використання частотного спектра необхідно знати всі особливості ПРХ.

Енергія електромагнітних хвиль (як носіїв інформації) випромінюється передавальними пристроями та приймається антенами. При цьому на приймальній антені (згідно із законом електромагнітної індукції) хвилею може наводитися електрорушійна сила (ЕРС) від будь-якого випромінювача, тоді як для отримувача інформації корисним є лише випромінювання від одного «свого» джерела. Тому будь-яка пара джерел та отримувачів інформації в цьому спільному середовищі ПРХ має (по змозі) не «почуватися» дискорфортно. Створення умов *успішної спільної роботи всіх користувачів РЧР* неможливе без знання механізмів ПРХ.

У процесі планування та розміщення радіосистем перед спеціалістами постають завдання вибору пунктів розміщення станцій, вибору робочих частот і визначення необхідного обладнання кінцевих пунктів, яке має забезпечити виконання певних вимог, що висуваються до зв'язку. Інші радіосистеми (наприклад, радіолокаційні) виконують інші функції, проте завдання узгодженості параметрів обладнання та параметрів середовища ПРХ залишається.

Тут доцільно наголосити на відмінності між робочими характеристиками обладнання та робочими характеристиками радіосистеми: останні містять у собі робочі характеристики обладнання разом із характеристиками поширення сигналів (завад) у середовищі ПРХ.

Втрати енергії під час ПРХ є одним із головних параметрів, який має враховуватися при визначенні реального розміру зони охоплення радіосистеми та рівня ненавмисних завад. Загалом кажучи, важко повністю відокремити вплив характеристик ПРХ на використання спектра від впливу характеристик застосовуваного обладнання радіосистем, а тому їхній вплив варто було б розглядати в комплексі. Проте з метою аналізу будь-якої складної задачі її часто поділяють на простіші складові, які розглядаються окремо, а згодом здобуті результати використовуються при розв'язанні задач синтезу.

Найважливішою вимогою до ліній (мереж) радіозв'язку є якість передавання інформації, що зазвичай задається *вірогідністю* та *надійністю*. Досягти вірогідності та надійності можна за таких двох умов:

- спотворення сигналу в передавачі, середовищі ПРХ та приймачі не повинні перевищувати припустимих меж;

- потужність сигналу $P_{\text{прм}}$ (або напруженість поля E_c) у пункті приймання має перевищувати в $K_{\text{прип}}^2$ разів (або в $K_{\text{прип}}$ разів) сумарну потужність завад P_z (або напруженість поля завад E_z) та власних шумів $P_{\text{ш}}$ на вході (або напруженість поля $E_{\text{ш}}$) приймача

$$P_{\text{прм}} / (P_z + P_{\text{ш}}) \geq K_{\text{прип}}^2$$

або

$$E_c / (E_z + E_{\text{ш}}) > K_{\text{прип}}$$

Із цього випливає, що навіть коли рівень зовнішніх завад на вході приймача дорівнює нулю ($P_z = 0$), то якість прийманого сигналу обмежується власними шумами приймача, чутливістю останнього.

Потрібне значення $K_{\text{прип}}$ залежить від таких чинників:

- який клас випромінювань використовується;
- яка вірогідність приймання припустима (що залежить, зокрема, від термінального обладнання);
- чи застосовується коригувальне кодування;
- яка надійність зв'язку потрібна тощо.

Чим вищі вимоги до якості радіозв'язку, тим більшим має бути коефіцієнт $K_{\text{прип}}$, тобто тим більше рівень прийманого сигналу має перевищувати рівень завад, наведених у приймальній антені.

Зазначимо, що в загальному випадку якість приймання визначається відношенням сигнал/(завада + спотворення + шум) на виході радіоприймача. Для кожного типу модема можна встановити взаємозалежність між відношеннями сигнал/завада (або сигнал/шум) на виході приймача та на його вході.

Оскільки у природному середовищі ПРХ значення величин E_c та E_3 зазнають безперервних випадкових змін, то вірогідність приймання оцінюється за порівняно короткі відрізки часу, коли E_c/E_3 можна вважати незмінним. За довгі інтервали часу відношення E_c/E_3 змінюється, а в разі істотного зниження E_c/E_3 необхідна вірогідність приймання може взагалі ставати недосяжною.

Вірогідність приймання визначається відношенням кількості правильно прийнятих слів чи фраз (при телефонному радіозв'язку) або знаків («0» або «1») при телеграфному зв'язку та передаванні даних до загальної кількості переданих.

Характеристика стійкості роботи радіолінії — *надійність радіозв'язку*, під якою розуміється відношення сумарного часу зв'язку із заданою вірогідністю до загального часу зв'язку (за умови справності всіх технічних засобів). Чим довший сеанс зв'язку, тим більше можуть змінюватися E_c та E_3 . Тому надійність роботи лінії радіозв'язку прийнято відносити до певного інтервалу часу (за добу, місяць, рік). Одним зі способів підвищення надійності радіозв'язку є використання адаптивних радіосистем.

Сучасні вимоги щодо вірогідності визначаються ймовірністю помилкового приймання знака $P_{\text{пом.зн}}$ та подаються такими нерівностями:

$$P_{\text{пом.зн}} < 10^{-3} \text{ — для телеграфних повідомлень;}$$

$P_{\text{пом.зн}} < 10^{-6} \dots 10^{-7}$ — при передаванні даних (передбачається, що ймовірність приймання хибної команди $P_{\text{хибн}} \leq 10^{-9}$, а ймовірність пропуску команди $P_{\text{проп}} \leq 10^{-5}$).

Основою для визначення припустимих значень P_c/P_3 на виході приймального тракту при передаванні/прийманні аналогових повідомлень є необхідна розбірливість останніх, досліджувана артикуляційними методами.

Суб'єктивній оцінці якості зв'язку відповідають значення розбірливості, наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Відповідність між якістю зв'язку та відношенням сигнал/завада

Оцінка якості зв'язку	Складова розбірливість, %	Змістова розбірливість, %	P_c/P_3 , рази
«Відмінно»	80–90	98–99	80...100; 19...20
«Добре»	60–80	97–98	20...80; 13...19
«Задовільно»	40–60	95–97	7...20; 8,45...13

Якщо змістова (фразова) розбірливість менша за 90%, то контакт між абонентами порушується.

Задана якість реалізується на відстані r між кореспондентами, яка називається *дальністю радіозв'язку*.

Отже, дальність радіозв'язку перебуває у взаємній залежності від таких чинників:

- класу випромінювань;
- умов ПРХ на трасі зв'язку (в обслуговуваній територіальній зоні);
- електромагнітної обстановки в місцях приймання радіосигналів;
- енергетичних параметрів радіопередавальних та радіоприймальних засобів, зокрема антенних пристроїв.

Взаємозв'язок між потрібною потужністю на вході приймача $P_{\text{прм}}$, потужністю передавача $P_{\text{пер}}$ та параметрами середовища ПРХ установлюється з таких міркувань.

Потік потужності у вільному просторі через одиничну площинку сфери на відстані r від випромінювача пропорційний до величини

$$P_{\text{пер}} \eta_{\text{Апер}} G_{\text{Апер}} / 4\pi r^2, \quad (2.1)$$

де $\eta_{\text{Апер}}$, $G_{\text{Апер}}$ — відповідно коефіцієнт корисної дії фідера та коефіцієнт підсилення передавальної антени; $4\pi r^2$ — площа сфери радіуса r .

Скориставшись (2.1), можна вивести основне рівняння для енергетичного розрахунку радіоліній.

Коефіцієнт підсилення антени — відношення потужності на вході еталонної антени до потужності, що підводиться до входу розглядуваної антени, за умови, що обидві антени створюють у даному напрямі на однаковій відстані рівні між собою напруженості поля або такої самої густини потік потужності.

За відсутності відомостей про напрям значення коефіцієнта підсилення антени відповідає напрямку максимального випромінювання. Коефіцієнт підсилення може подаватися в децибелах.

Приймальна антена «перехоплює» лише ту частину енергії цього потоку, яка пропорційна до ефективної площі приймальної антени S_A . Так, для апертурних антен

$$S_A = G_{\text{Апрм}} \lambda^2 / 4\pi,$$

де $G_{\text{Апрм}}$ — коефіцієнт підсилення приймальної антени; λ — довжина хвилі прийманого сигналу.

Ефективна площа приймальної антени — площа, що визначається відношенням максимальної потужності, що її може віддати приймальна антена в узгоджене навантаження, до потужності, що припадає на одиницю площі в падаючій плоскій хвилі.

Тому потужність, яка підводиться до фідера приймальної антени, подається у вигляді

$$P_{\text{пер}} \eta_{\text{ф пер}} G_{\text{Апрм}} (\lambda^2 / 16\pi^2 r^2).$$

Потужність на вході приймача залежить ще й від ККД фідера приймальної антени $\eta_{\text{ф прм}}$ та двох коефіцієнтів: узгодження $K_{\text{узгодж 1}}$ передавальної та приймальної антен за поляризацією та узгодження $K_{\text{узгодж 2}}$ вхідного опору приймача $Z_{\text{прм}} = K_{\text{прм}} + jX_{\text{прм}}$ із приймальною антеною ($Z_A = R_A + jX_A$), що визначається виразом

$$K_{\text{узгодж 1}} = 4R_A R_{\text{прм}} / |Z_A + Z_{\text{прм}}|^2,$$

та дорівнює

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{пер}} \eta_{\text{ф пер}} \eta_{\text{ф прм}} G_{\text{А пер}} G_{\text{А прм}} K_{\text{узгодж 1}} K_{\text{узгодж 2}} \lambda^2 / 4\pi r^2. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт $W_0 = (4\pi r)^2 / \lambda^2$ називають **загасанням енергії радіохвиль у вільному просторі**. У разі використання логарифмічних одиниць величина W_0 подається в децибелах. Тоді вона застосовна для розрахунків як потужностей, так і напруженості поля.

За доволі наближеного оцінювання вираз (2.2) можна подати у вигляді

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{пер}} G_{\text{А пер}} G_{\text{А прм}} / W_0.$$

Знаходить застосування також інший вираз для напруженості поля, Вт/м², при поширенні хвиль у вільному просторі, виведений через вектор Пойнтінга:

$$\Pi = E_A H_d,$$

де E_A — діюче значення напруженості електричного поля радіохвилі; H_d — діюче значення напруженості магнітного поля радіохвилі,

$$H_d = E_A / 120 \pi.$$

Тут величина 120π являє собою хвильовий опір вільного простору. Підставивши H_d у попередній вираз, дістанемо значення модуля вектора Пойнтінга, W_t/m^2 :

$$P = E_A^2 / 120 \pi.$$

Після підставлення здобутого співвідношення у формулу, яка являє собою визначення (дефініцію) вектора Пойнтінга:

$$P = P_{\text{випр}} / (4\pi r^2),$$

та розв'язування відносно E_A дістаємо вираз для обчислення діючого значення напруженості електричного поля, В/м, створюваного передавачем з ізотропною антеною на відстані r , м:

$$E_A = \sqrt{30 P_{\text{випр}}} / r.$$

Далі, пов'язавши $P_{\text{випр}}$ із $P_{\text{пер}}$ через $\eta_{\text{ф пер}} G_{A \text{ пер}}$, а E_A через $\eta_{\text{ф пер}} G_{A \text{ пер}}$, можна дістати вираз для E_A через технічні параметри обладнання при використанні реальних антен. Зазначені параметри міститимуться під знаком радикала.

На реальній трасі зв'язку детерміноване загасання енергії хвиль ($W_0 W_t$) відрізняється від W_0 (W_t — додаткові втрати енергії на трасі зв'язку).

Тому

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{пер}} G_{A \text{ пер}} G_{A \text{ прм}} / W_0 W_t. \quad (2.3)$$

Співвідношення (2.3) можна використати для визначення не лише потужності сигналу на вході приймача, а й рівнів завад від відомих джерел радіозавад (або від передбачуваних джерел випромінювань радіосистем, запланованих до розгортання).

У ньому під $P_{\text{пер}}$ розуміється потужність джерела завад, під $P_{\text{прм}}$ — потужність завад у точці розміщення рецептора завад. Зазначені розрахунки неодмінно має бути виконано для забезпечення територіального рознесення засобів із метою забезпечення їхньої ЕМС.

Розв'язавши (2.3) відносно P_3 , можна знайти максимальний рівень завад, із перевищенням якого якість радіозв'язку не забезпечується.

Способи зменшення рівнів завад і становлять основний зміст проблеми ЕМС технічних засобів.

Розв'язання нерівності відносно $P_{\text{пер}}$ приводить до основного співвідношення для енергетичного розрахунку радіоліній:

$$P_{\text{пер}} \geq \frac{(P_3 + P_{\text{ш}}) K_{\text{прип}}^2 W_0 W_t}{\eta_{\text{ф пер}} \eta_{\text{ф прм}} G_{A \text{ пер}} G_{A \text{ прм}}}. \quad (2.4)$$

Після логарифмування права частина цього виразу перетворюється на алгебраїчну суму (у децибелах).

Найбільш невизначеними параметрами в (2.4) є рівень завад P_3 у точці приймання та додаткові втрати енергії на трасі зв'язку W_t .

У різних методиках вони враховуються не однаково. Зокрема, це пояснюється випадковим характером кожного із зазначених параметрів траси.

У багатьох випадках вплив рельєфу місцевості може призвести до великих коливань рівнів як корисного, так і небажаного (завадного) радіосигналів.

У разі застосування деяких методів визначення загасання у процесі ПРХ необхідні знання особливостей місцевості.

Корисно, скажімо, мати дані щодо різних типів місцевості (табл. 2.2), таких як море, інші водні басейни, пустеля, густий ліс, лісові галявини, сільські, приміські та міські зони.

Таблиця 2.2

Електричні параметри різних типів місцевості

Поверхня	ϵ	σ , с/м
Море у спокійному стані	80	1...6
Прісна вода річок та озер	80	10^{-3} ... 10^{-2}
Вологий ґрунт	10...30	$3(10^{-3}$... $10^{-2})$
Сухий ґрунт	3...6	10^{-5} ... 10^{-3}
Мерзлий ґрунт	3...6	10^{-3} ... 10^{-2}
Сніг ($t = -10$ °C)	1	10^{-6}
Лід ($t = -10$ °C)	4...5	10^{-2} ... 10^{-1}

Розмаїття видів рельєфу та структур місцевості у процесі ПРХ прямою хвилею вздовж поверхні Землі (наприклад, у системах мобільного радіозв'язку) може ставати причиною різного механізму ПРХ за конкретних обставин. Хвилі можуть відбиватися дзеркально (за законами оптики) від гладеньких поверхонь будівель або дифузно від грубошорстких, а також огинати перешкоди, розміри яких менші за довжину хвилі.

З огляду на сказане існує багато моделей ПРХ на трасах зв'язку, в яких слід урахувати як детерміновані, так і випадкові параметри середовища ПРХ. Наприклад, лише на дециметрових хвилях при проектуванні систем мобільного зв'язку можна застосовувати низку моделей. Докладніше їх розглянуто в підрозд. 2.2.4.

Побудова профілів трас на основі топографічних карт традиційно здійснюється вручну. Це трудомісткий та довгий процес. Проте картографічні інститути виконали великий обсяг робіт зі створення карт у цифровій формі для окремих географічних районів (скорочено — цифрових географічних карт). Із цих карт можна здобути важливі відомості для прогнозування ПРХ.

У перспективі можуть стати доступними такі дані, як висота рельєфу місцевості, рослинність на земній поверхні, висота будівель та густина забудови, ширина вулиць, геологія ґрунту. В інших випадках інформація про місцевість може також отримуватися за даними аерофотознімання або на підставі зображень, отриманих від супутників. На жаль, доступ до цифрових карт місцевості утруднений: ринкова вартість пакетів програм для ведення цифрових карт та спеціалізованих геоінформаційних систем може досягати сотень тисяч доларів.

Розрізнявальна здатність (необхідний масштаб карт) даних визначається ємністю цифрової пам'яті та точністю топографічних зніманих, а також залежить від розглядуваного діапазону частот. Вона може змінюватися від 1/100000 для УВЧ/НВЧ до 1/5000000 для ВЧ. Точність даних (висота перешкод) має бути в межах від 10 м до 1000 м (також залежно від діапазону частот).

Використовуючи збережені дані про місцевість, можна побудувати профіль висот на трасі між будь-якими двома географічними пунктами, вклю-

ченими до бази даних про місцевість. Ці профілі корисні, коли йдеться про визначення пунктів на трасі прямої видимості або про явища екранування (радіозатіннення) навколишньою місцевістю. При цьому не можна ігнорувати висоту будівель, особливо в міських та приміських зонах. Автоматичний доступ до бази даних про місцевість може бути забезпечено в разі застосування комп'ютерних методів розрахунку втрат ПРХ.

2.2. Особливості поширення радіохвиль та моделі для розрахунку їх загасання

2.2.1. Загальні положення

Загалом задача з визначення напруженості поля на деякій відстані від джерела випромінювання має розв'язуватися за допомогою рівнянь Максвелла та системи граничних умов. Проте за реальних умов Земля є неоднорідним поглинальним середовищем. Поверхня Землі нерівна. Навколо Землі міститься атмосфера, параметри якої змінюються за широтою, довготою та висотою, залежать від часу, частоти коливань і т. ін. З урахуванням зазначених чинників відшукання поля від джерела ускладнюється, а отже, точного розв'язку поставлена задача не має.

Тому загальну задачу про ПРХ (сигналів і радіозавад) у реальному середовищі поділяють на кілька окремих задач. Кожна задача досліджує механізм ПРХ, зумовлений деякою частинною властивістю середовища ПРХ. Властивості середовища протягом тривалого часу досліджувалися експериментально.

Здебільшого вимірювання властивостей середовища ПРХ потребує великих витрат часу та застосування високовартісної апаратури. При цьому необхідна широка програма вимірювань для збирання достатньої кількості статистичної інформації про величезну кількість змінних величин, що визначають середовище ПРХ, утворене поверхнею Землі та навколишньою атмосферою. Апробована теоретична модель, чітко описана у сфері її фізичного застосування (у термінах частоти, дальності, властивостей середовища тощо), доволі корисна, оскільки у відповідних межах відпадає необхідність у проведенні великих за обсягом вимірювань.

Для формулювання різних можливих компромісних розв'язків (за умов змінюваності з часом властивостей середовища від найгірших до найкращих) доволі корисним виявився ймовірнісний підхід, що полягає в обчисленні ймовірності досягнення даної якості обслуговування протягом певної частки (у відсотках) часу роботи за рік. Завдяки такому підходу забезпечується об'єктивне оцінювання шансів на успішне розв'язання проблеми за умови досягнення компромісу між якістю обслуговування та вартістю обладнання з урахуванням експлуатаційних витрат.

В основу цього підходу покладено статистичний облік усіх змінних величин та аналіз імовірності нормальної роботи системи за різних припущень щодо використовуваної апаратури та застосовуваних робочих частот.

Для виведення формули, за допомоги якої можна було б оцінювати ймовірність нормального функціонування системи, необхідно постулювати прийнятну модель механізму ПРХ. Кількісні прогнози щодо втрат на поширення сигналу (зменшення рівня сигналу у точці приймання) значною мірою базуються на теоретичних моделях, які, з одного боку, описують механізм

поширення, а з другого — придатні для математичної та комп'ютерної обробки.

Радіохвилі, як відомо, різняться лише частотою. Що ж до характеристик середовища, в якому відбувається їх поширення, то вони мають яскраво виражену частотну залежність. Окремі елементи апаратури (наприклад, антени) також мають частотозалежні параметри. Параметри середовища впливають і на припустиму швидкість передавання інформації. Така частотна залежність поведінки електромагнітних хвиль призводить до того, що при їх використанні для радіозв'язку є сенс індивідуально розглядати різні ділянки спектра радіочастот залежно від явищ, що визначають ПРХ даної частоти. Зауважимо, що використання (як критерію) характеристик ПРХ дає певне логічне (хоча й не строге) обґрунтування поділу частотного спектра на діапазони.

Вибір механізму поширення радіохвиль для даної системи радіозв'язку залежить від великої кількості чинників — виду передаваної інформації та швидкості передавання, потрібної якості зв'язку, географічних і економічних міркувань та наявних робочих частот.

2.2.2. Механізми поширення радіохвиль

Розрізняють такі способи поширення радіохвиль:

- поширення у *межах прямої видимості* між передавальною та приймальною антенами (наприклад, зв'язок пункту з пунктом на землі або зв'язок за напрямом Земля — супутник); таке поширення називають прямим поширенням радіохвиль. Ідеться про радіохвилі, що поширюються в однорідному чи слабонеоднорідному середовищі по прямолінійних або близьких до них траєкторіях;

- із задіянням земної хвилі *при дифракції* (огинанні перешкод), зокрема — за лінію горизонту; вони поширюються в безпосередній близькості до поверхні землі;

- *шляхом одно- чи багаторазового відбиття* радіохвиль від природних іоносферних шарів атмосфери, утворюваних під впливом енергії Сонця (іоносферні хвилі, які іноді називають просторовими);

- *розсіювання енергії в тропосфері* (тропосферні хвилі);

- *хвилевідне*;

- *комбіноване поширення*, наприклад поєднання прямих хвиль із відбитими.

Питання поширення радіохвиль розглядаються 3-ю Дослідницькою комісією (ДК) МСЕ-Р (5-та і 6-та ДК МККР).

Виконуючи розрахунки втрат на поширення, усю радіолінію зазвичай поділяють на кілька областей або зон.

Рівень радіосигналу, прийнятого після його проходження по трасі поширення від передавальної антени, залежить від характеристик місцевості на трасі та від змінюваності іоно- та тропосфери. У разі ретельного оцінювання напруженості поля сигналу (ступеня послаблення сигналу) необхідно враховувати місцезнаходження кінцевих станцій, пору року й час доби, а також потрібні статистичні параметри (наприклад, частку (у відсотках) часу, протягом якого ймовірність помилки не перевищує заданого значення).

З огляду на складність моделей ПРХ доводиться ідеалізувати умови, за яких вони виникають (наприклад, неможливо враховувати безперервні зміни

електричних параметрів земної поверхні на шляху поширення хвилі, і тому вони усереднюються): для багатьох цілей аналізу спектра та присвоєння частот використовуються спрощені оцінки втрат енергії під час поширення.

Область прямої видимості простягається до радіогоризонту і зазвичай характеризується наявністю хвиль трьох типів — прямої, відбитої та земної.

Пряма та відбита хвилі спостерігаються при антенах, піднятих на висоту, що перевищує довжину хвилі.

Якщо висота підняття менша за довжину хвилі, то хвиля вважається земною.

Область дифракції або тіні — це область земної поверхні, де немає прямої хвилі, а поширення відбувається внаслідок того, що хвиля огинає земну поверхню та її нерівності. Дифракційну здатність мають хвилі декаметрового та більш довгохвильових діапазонів. Хвилі метрового та дециметрового діапазонів дифрагують лише нерівності, сумірні з довжиною хвилі.

Область напівтіні є проміжною між областями прямої видимості та дифракції і становить $(1 \pm 0,2) r_r$ де r_r — відстань до горизонту.

Область далекого тропосферного поширення пролягає на відстані близько 100...1000 км від земної поверхні. У вигляді тропосферних хвиль можуть поширюватися коливання частот 40...10000 МГц. Поширення за рахунок розсіювання у тропосфері супроводжується великими втратами. Тому з огляду на завади, які виникають при тропосферному поширенні, на лініях зв'язку використовуються передавачі потужністю в десятки кіловат.

Завади часто виникають унаслідок *хвилевідного поширення*. Імовірність виникнення хвилеводів між поверхнею Землі та іоносферно-тропосферними шарами доволі велика. Саме тому при прогнозуванні ЕМС ці завади слід враховувати.

Завади в *області просторових хвиль* мають регулярний характер та охоплюють діапазони від міріа- до декаметрових хвиль включно.

Іоносферна радіохвиля — радіохвиля, що поширюється в результаті відбиття від іоносфери або розсіювання в ній.

В області іоносферного розсіювання хвилі поширюються за рахунок відбиття та розсіювання на неоднорідностях іоносфери, іонізованих слідів метеорів. Область іоносферного розсіювання простягається на відстань 800...2400 км та охоплює діапазон 30...150 МГц.

2.2.3. Особливості поширення радіохвиль різних діапазонів

2.2.3.1. Діапазон частот 10 кГц ... 30 МГц

На частотах, нижчих за 30 кГц, втрати при поширенні радіосигналів наближаються до рівня втрат при поширенні у вільному просторі. На ДНЧ проходження радіохвиль у режимі хвилевідного поширення між іоносферою та поверхнею Землі може спостерігатися у глобальному вимірі.

У цьому діапазоні частот важливо враховувати два різні режими поширення: режим земної хвилі, що часто визначає рівні корисного сигналу (КС), та режим іоносферної хвилі, за допомогою якого часто поширюються завадні сигнали (ЗС). Амплітуда відбитого від іоносфери сигналу характеризується виразними добовими коливаннями, спричиненими змінами рівня поглинання в іоносфері. Природа іоносферного поширення передбачає, що лінії зв'язку великої довжини зазнаватимуть спотворень, зумовлених багатопроменевою, завадами, які впливають на сигнал, та перервами в роботі.

У рамках моделей поширення на ВЧ застосовують числові карти іоносферних характеристик, а в Рекомендації Р.533 МСЕ-Р [101] викладено метод прогнозування для будь-якої траси, будь-якої пори року та якої завгодно кількості сонячних плям основної і робочої завадної проміжної частоти (ЗПЧ), довільного рівня напруженості поля, рівня приймальної потужності та відношення С/Ш.

Питання поширення земних хвиль для частот від 10 кГц до 30 МГц розглядаються в Рекомендації Р.368 МСЕ-Р [102]. Через складність розрахунків у Рекомендації Р.368 використовується сім'я кривих напруженості поля при поширенні земної хвилі для низки типових значень частот та характеристик поверхні Землі (ϵ — відносної діелектричної проникності, σ — провідності) при ЕІВП передавальної станції, що дорівнює 1 кВт (рис. 2.2). Ці криві можуть використовуватися для визначення напруженості поля лише в тих випадках, коли відомо, що відбиття від іоносфери буде незначним за амплітудою, і коли приймальну антену розташовано низько над поверхнею Землі.

Ці криві, наведені для однорідних трас, можуть також використовуватися для визначення напруженості поля на мішаних трасах згідно з методами, наведеними в Рекомендації Р.368 [32].

Основні втрати передавання, дБ, можна знайти з такого рівняння:

$$L_b = 142,0 + 20 \lg f - E, \quad (2.5)$$

скориставшись значеннями напруженості поля E , дБмкВ, згідно з кривими на рис. 2.3. (Y (2.5) f подається в мегагерцах, а E — у децибелах).

Вплив навколишнього середовища на передавальну та приймальну антени розглянуто в Рекомендації Р.341 МСЕ-Р [103].

2.2.3.2. Діапазон частот 30 МГц ... 3 ГГц

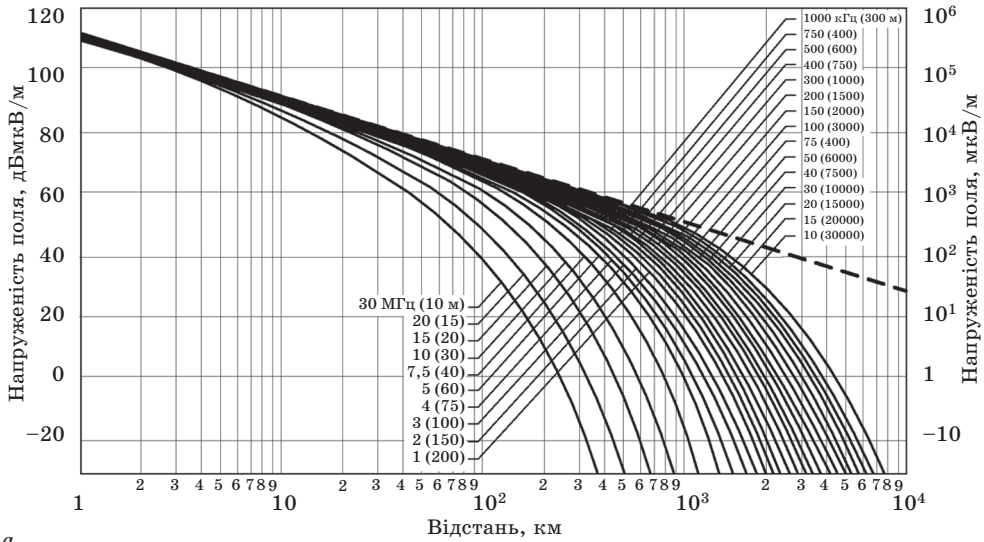
У цьому діапазоні частот, за винятком найнижчої межі смуги, поширення радіохвиль через регулярну іоносферу не відбувається. Вплив погоди обмежується явищами надрефракції та хвилевідного поширення, які можуть спричинюватися інверсіями нормального градієнта індексу рефракції в атмосфері. Іншими істотними відхиленнями від поширення у вільному просторі є тропосферне розсіювання та дифракція, що викликаються впливом перешкод на трасі поширення, зокрема й опуклістю Землі, й дифракцією на рельєфі місцевості та будівлях.

Залежно від конкретних умов поширення радіохвиль для оцінювання втрат при поширенні можуть використовуватися такі дані.

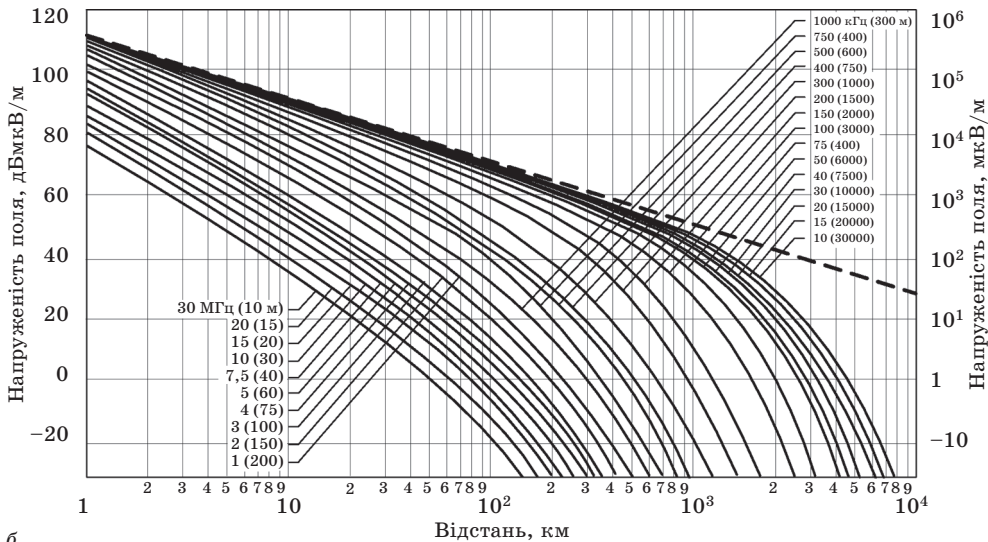
Послаблення радіохвиль у вільному просторі. За певних умов достатньо припустити, що корисний сигнал послаблюється лише через поширення у вільному просторі (Рекомендація Р.525 МСЕ-Р [104]).

Дифракція навколо гладенької поверхні Землі. Для прогнозування рівня корисного сигналу на відстанях, що перевищують відстань прямої видимості, необхідно враховувати кривину Землі. Ці питання розглянуто в [34].

Поширення радіохвиль у конкретних регіонах світу або над земною поверхнею з певним ступенем нерівності. У Рекомендаціях ІТУ-Р Р.1546-2, Р.528, МСЕ-Р [98; 105] наведено криві для різних радіослужб, діапазонів частот, регіонів світу та висот антен, що можуть застосовуватися для конкретної розглядуваної ситуації.



а

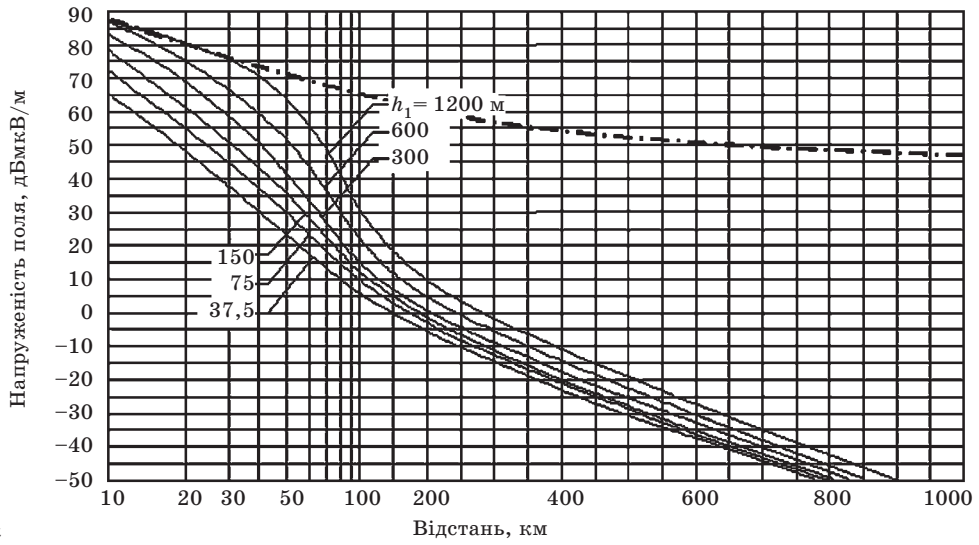


б

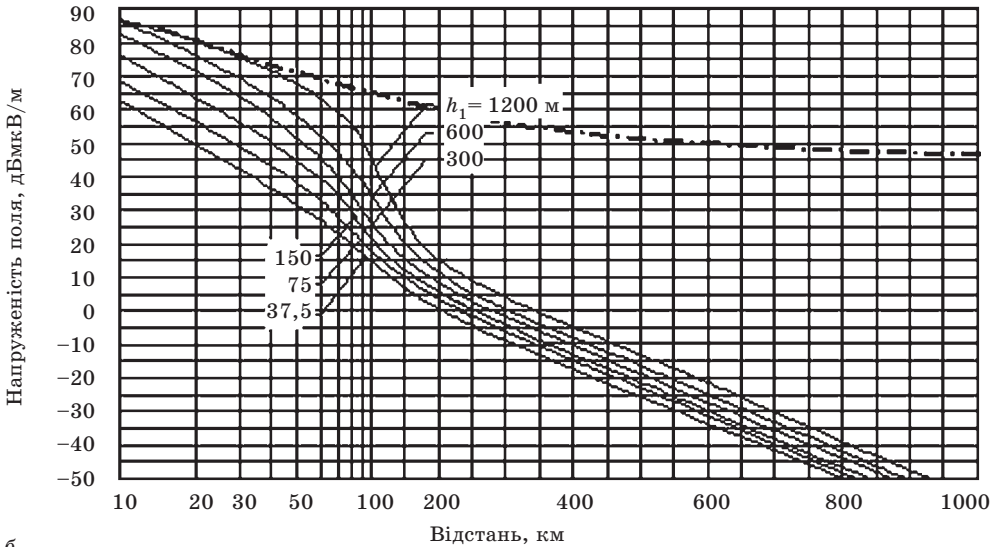
Рис. 2.2. Криві поширення земної хвилі на частотах 10 кГц...30 МГц над водною поверхнею, морською водою середньої солоності: $\sigma = 5$ с/м; $\epsilon = 70$ (а) і над сушею, ґрунт середньої сухості: $\sigma = 10^{-3}$ с/м; $\epsilon = 15$ (б)

Поширення радіохвиль у міській місцевості. Ця модель ґрунтується частково на Рекомендації Р.529 МСЕ-Р [106] і використовує формулу Окамура–Хата для розрахунку послаблення залежно від відстані та еквівалентної висоти передавальної антени, частки (у відсотках) забудованої території навколо місця приймання, типу траси та ступеня нерівності земної поверхні. Окрім того, може знадобитися врахування інших механізмів поширення, що можуть призвести до виникнення завад. Ці механізми включають у себе такі явища.

Іоносферне поширення. У певні пори року та час доби режими іоносферного поширення, такі як поширення через спорадичний шар *E*, можуть забезпечувати поширення радіохвиль на великі відстані на частотах близько 70 МГц. Ці питання розглянуто в Рекомендації Р.534 МСЕ-Р [107].



а



б

Рис. 2.3. Напруженість поля на сухопутних та морських трасах на частотах 30...250 МГц для ефективної висоти передавальної антени $h_1 = 1200$ м (50% часу; ЕІВП = 1 кВт; $h_2 = 10$ м): а — сухопутні траси; б — морські траси

Хвилевідне поширення та надрефракція. Ці явища розглядаються в Рекомендаціях Р.834 та Р.452 МСЕ-Р [108; 109].

У Рекомендації ІТУ-Р Р.1546 [98] використовується метод розрахунку для радіослужб мовлення на основі експериментальних кривих поширення, що подають значення напруженості поля у смугах ДВЧ (30 ... 250 МГц) та НВЧ (250 МГц ... 1 ГГц) як функції протяжності траси для різних ефективних висот передавальної антени на наземних і морських трасах та для 1–50% часу. Усі криві відповідають висоті приймальної антени $h_2 = 10$ м, а криві для наземних трас відповідають нерівності місцевості $\Delta h = 50$ м, що зазвичай застосовується в розрахунках для умов типової нерівної місцевості. Ефективну висоту антени необхідно визначати згідно з Рекомендацією Р.341 [103]. Для ефективних висот h_1 передавальної антени, більших за 1200 м та мен-

ших за 37,5 м, у Рекомендації ITU-R P.1546-2 наведено метод і відповідні формули для розрахунку напруженості поля.

Зміна висоти h_2 приймальної антени в діапазоні 1,5...40 м ураховується у вигляді поправки напруженості поля ΔE_h , дБ, відносно значення при висоті 10 м, яка визначається за формулою

$$\Delta E_h = \frac{c}{6} 20 \lg (h_2/10), \quad (2.6)$$

де $c = 4 \dots 8$ дБ залежно від типу зони (сільська, приміська, міська).

Якщо траси проходять над зонами з різними характеристиками поширення, то використовується метод, який ураховує характеристики різних частин траси. На НВЧ для частки часу $p < 10\%$ з метою розрахунку напруженості поля $E_m(p)$ для мішаних трас, які перетинають межу земля/море, використовується така процедура:

$$E_m(p) = E_1(p) + E_p(E_s(p) - E_1(p)), \quad (2.7)$$

де $E_1(p)$ — напруженість поля для наземної траси, довжина якої дорівнює довжині мішаної траси, для $p\%$ часу; $E_s(p)$ — напруженість поля для морської траси, довжина якої дорівнює довжині мішаної траси, для $p\%$ часу; E_p — поправочний коефіцієнт, що визначається відповідно до графіків, наведених на рис. 2.4.

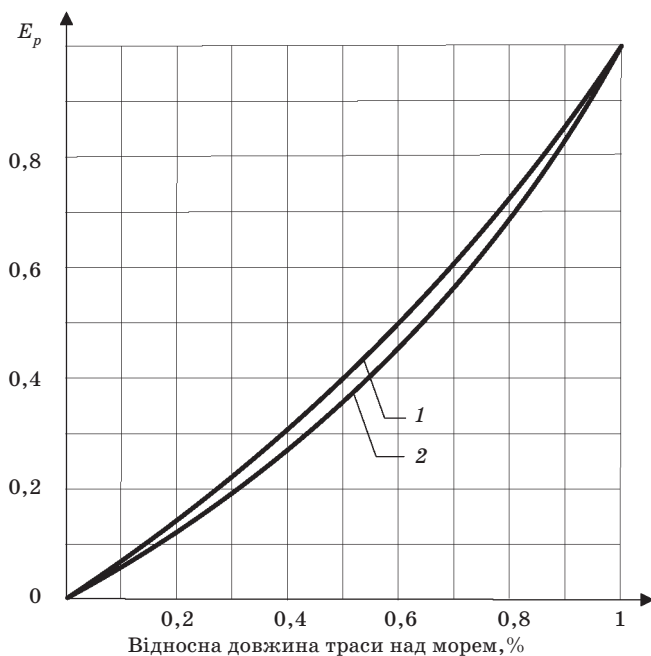


Рис. 2.4. Графіки залежності поправочного коефіцієнта E_p від відносної довжини траси над морем для різних значень частки часу: 1 — для $p = 5\%$; 2 — для $p = 1\%$

У разі, коли траса перетинає більш як дві зони (з яких принаймні одна — море), застосовується наведена раніше лінійна процедура, причому спочатку до тих частин траси, які перетинають морські, а далі — до тих, які перетинають сухопутні зони. Ці два результуючі значення напруженості поля об'єднують, використовуючи процедуру, описану раніше. Для решти інших випадків також застосовується ця сама процедура.

У діапазонах ДВЧ та НВЧ для часу $p \geq 10\%$ має застосовуватися така формула:

$$E_m(p) = \frac{1}{d} \sum d_i E_i(p), \quad (2.8)$$

де $E_m(p)$ — напруженість поля для мішаної траси та $p\%$ часу; $E_i(p)$ — напруженість поля в i -й зоні, довжина якої дорівнює довжині мішаної траси, для $p\%$ часу; d_i — довжина траси в i -й зоні; d — довжина загального маршруту.

2.2.3.3. Діапазон частот 3 ... 20 ГГц

Описані раніше чинники поширення радіохвиль (за винятком іоносферних хвиль) діють також і в цьому діапазоні частот. Однак тут доводиться враховувати явища послаблення, розсіювання та крос-поляризації, що виникають під впливом гідрометеорів та інших атмосферних частинок. На частотах, вищих приблизно за 15 ГГц, необхідно також враховувати послаблення в атмосферних газах.

Дощі, які випадають на трасі поширення радіохвиль, можуть створювати чимало проблем. На частотах, вищих приблизно за 10 ГГц, послаблення в дощових краплях може призвести до суттєвого погіршення якості сигналу. Методи оцінювання ймовірностей рівнів послаблення зазвичай ґрунтуються на значеннях інтенсивності дощів R_0 , мм/год, перевищуваних протягом 0,01% часу. Ці значення мають отримуватися на підставі тривалих спостережень за випаданням дощів, здійснюваних із використанням дощомірів, які мають часову розрізнявальну здатність 1 хв. Якщо стосовно регіону, який нас цікавить, відповідних даних за результатами тривалих спостережень немає, то такі значення можна визначити за картами, наведеними в Рекомендації Р.837 МСЕ-Р [110]. Для розглядуваної частоти та поляризації «погонне» послаблення можна далі розрахувати згідно з Рекомендацією Р.838 МСЕ-Р [41]. Статистичні дані щодо кліматичних змін вміщено в Рекомендації Р.453 МСЕ-Р [111].

При наземному поширенні радіохвиль за умов ясного неба можуть спостерігатися завмирання, зумовлені дифракцією, багатопроблемним поширенням в атмосфері та вздовж земної поверхні, розширенням променя, розфокусуванням антени, послабленням в атмосферних газах, а у деяких регіонах — піщаними та пиловими бурями. У Рекомендації Р.530 МСЕ-Р [112] описано методи прогнозування процесів поширення радіохвиль на трасах прямої видимості з урахуванням більшості цих явищ. При цьому використовується модель, що враховує такі основні чинники впливу на характеристики поширення:

- субрефракцію, яка призводить до екранування радіохвилі перешкодою;

- посилення сигналу через виникнення хвилевідних умов поширення;
- відбиття радіохвиль від шаруватих неоднорідностей тропосфери;
- відбиття радіохвиль від підстигальної поверхні;
- послаблення в гідрометеорах;
- деполаризація радіохвиль через багатопроблемність та дощі;
- спотворення сигналу через частотно-селективні завмирання (ЧСЗ).

Частка (у відсотках) p часу, протягом якого перевищується глибина завмирання A , дБ, для найгіршого середнього місяця визначається співвідношенням

$$p = 100[1 - \exp(-10^{-qA/2})], \quad (2.9)$$

де

$$q = 2 + 10^{-0,016A} [1 + 0,3 \cdot 10^{-A/2}] [q_i + 4,3(10^{-A/2} + A/800)]; \quad (2.10)$$

$$q_i = (-20 \lg(-\ln((100 - p_0 \cdot 10^{-A/10})/100)) / A - 2) / (10^{-0,016A} (1 + 0,3 \cdot 10^{-A/2})) - 4,3(10^{-A/2} + A/800). \quad (2.11)$$

У (2.11) параметр p_0 — частота появи ЧСЗ, %, визначається згідно з формулою

$$p_0 = K d^3 (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,2} 10^{0,033f - 0,001h_L}, \quad (2.12)$$

де K — геокліматичний коефіцієнт для усередненого найгіршого місяця за завмираннями; d — довжина траси, км; f — частота, ГГц; h_L — найменша з висот передавальної та приймальної антен; ε_p — нахил траси, рад, що визначається за формулою

$$|\varepsilon_p| = |h_1 - h_2| / d, \quad (2.13)$$

де h_1, h_2 — висота антен над рівнем моря, м. Геокліматичний коефіцієнт K обчислюється згідно з формулою [111]

$$K = 10^{-4,2 - 0,0029\Delta N_1}, \quad (2.14)$$

у якій ΔN_1 — градієнт рефракції на перших 65 м висоти атмосфери, який не перевищується протягом 1% середнього року (значення ΔN_1 визначається відповідно до Рекомендації Р.453 [111]).

Залежності $p(A)$, побудовані згідно з (2.12), (2.13) і (1.24) для різних значень параметра частоти ЧСЗ $p_0 = 0,01-1000\%$, наведено на рис. 2.5.

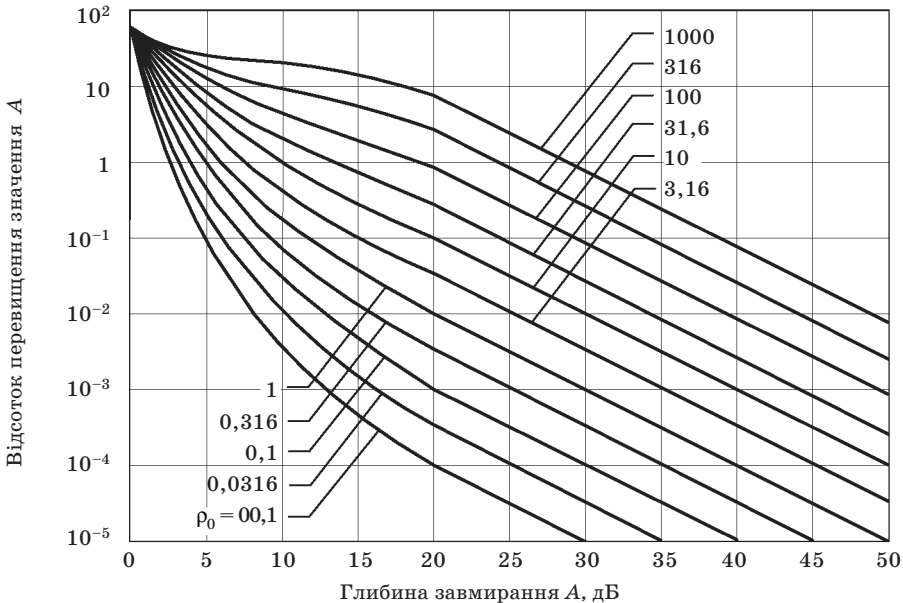


Рис. 2.5. Частка, % перевищення глибини завмирань A на трасі прямої видимості для різних значень параметра активності ЧСЗ p_0

Послаблення радіохвиль через розсіювання гідрометеорами стає помітним на частотах, вищих за 5 ГГц, і для часток часу $p = 0,001-1\%$ обчислюється згідно з формулою [112]

$$A_r(p) = 0,12A_{0,01}p^{-(0,546+0,0431g p)}, \quad (2.15)$$

де

$$A_{0,01} = k(I_{0,01})^\alpha d / (1 + d/35e^{-0,015I_{0,01}}); \quad (2.16)$$

$$k = 0,5 [k_r + k_b + (k_r - k_b) \cos^2 \varepsilon_p \cos 2\tau]; \quad (2.17)$$

$$\alpha = 0,5 [k_r \alpha_r + k_b \alpha_b + (k_r \alpha_r - k_b \alpha_b) \cos^2 \varepsilon_p \cos 2\tau] / k. \quad (2.18)$$

Тут $I_{0,01}$ — інтенсивність дощу, перевищувана протягом 0,01% часу; k_r , α_r , k_b , α_b — коефіцієнти апроксимації частотної залежності погонного послаблення під час дощу відповідно для горизонтальної та вертикальної поляризації сигналу, значення яких наведено в табл. 2.3 [113; 114]; τ — кут між площиною поляризації та горизонталлю (зазвичай у розрахунках береться $\tau = 45^\circ$).

Таблиця 2.3.

Значення коефіцієнтів апроксимації

f , ГГц	k_r	k_b	α_r	α_b
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
25	0,124	0,113	1,061	1,030
30	0,187	0,167	1,021	1,000
35	0,263	0,233	0,978	0,963
40	0,350	0,310	0,939	0,929

Сильна злива на трасі поширення сигналу протягом малих часток (у відсотках) часу призводить до зменшення крос-поляризаційної розв'язки XPD , оцінку якої можна подати за допомогою співвідношення

$$XPD = U - V(f)g(CPA), \quad (2.19)$$

де $U = 15 + 30 \lg(f)$; $V(f) = 12,8f^{0,19}$, для $8 \leq f \leq 20$ ГГц; $V(f) = 22,6$ для $20 < f \leq 35$ ГГц; $CPA = |A_r - A_b|$ — крос-поляризаційне послаблення на трасі поширення, тобто різниця послаблення на горизонтальній A_r , дБ, та на вертикальній A_b , дБ, поляризації. На реальних трасах як для лінійної, так і для колової поляризації маємо $CPA = 1,5 \dots 2$ дБ.

Вплив ЧСЗ ураховується як додаткова частка (у відсотках) порушень зв'язку згідно зі співвідношенням

$$p_s = 2,15 \eta_s (W_m \cdot 10^{-B_m/20} \tau_m^2 |\tau_{rM}| + W_{n.M} \cdot 10^{-B_{n.M}/20} \tau_m^2 |\tau_{rM.M}|), \quad (2.20)$$

де η_s — параметр активності багатопроменивості на даній трасі [43],

$$\eta_s = 1 - \exp(-0,2[p_0/100]); \quad (2.21)$$

W_m — ширина, ГГц, а B_m і $B_{n.M}$ — глибина, дБ, сигнатури (відповідні значення наводяться в технічних даних на апаратуру); τ_{rM} — еталонне значення затримки відбитого сигналу (наводиться в технічних даних на апаратуру),

причому здебільшого виконується співвідношення $\tau_{гм} = \tau_{гн.м} = \tau_0 = 6,3$ нс; τ_m — затримка відбитого сигналу, нс:

$$\tau_m = 0,7d/30. \quad (2.22)$$

Індекс «м» у (2.20) відповідає мінімально-фазовим ЧСЗ, а індекс «н.м» — не мінімально-фазовим ЧСЗ. Визначення параметрів сигнатури та опис способу її отримання наведено в Рекомендації F.1093 МСЕ-Р [113].

На трасах земля–космос важливе значення мають такі явища поширення радіохвиль, як послаблення сигналу, причому за рахунок мерехтіння та деполяризація сигналу, до того ж важливість кожного з цих явищ визначається геометрією траси, кліматом і параметрами системи зв'язку.

Додаткову інформацію можна знайти в Рекомендаціях Р.679 МСЕ-Р, Р.680 МСЕ-Р, Р.681 МСЕ-Р та Р.682 МСЕ-Р [114–117].

У Рекомендації Р.618 МСЕ-Р [118] наведено методи визначення втрат сигналу в разі поглинання в газах та послаблення під час дощу. Просторове рознесення може значно знизити рівень послаблення, що відповідає заданій річній частці (у відсотках) часу на трасах, які зазнають значного послаблення, а також зменшити ефекти мерехтіння та деполяризації. У Рекомендації Р.618 МСЕ-Р також наведено метод прогнозування глибини завмирань, зумовлених мерехтіннями, для частки пори року, що коливається між 0,01 та 50%.

Асиметричні розсіювальні об'єкти (дощові краплі, кристали льоду) на трасі поширення радіохвиль призводять до деполяризації сигналу в системах зв'язку з повторним використанням частот та із застосуванням подвійної поляризації. У Рекомендації Р.618 МСЕ-Р наведено метод оцінювання крос-поляризаційної розв'язки *XPD* для частот від 8 до 35 ГГц та кутів місця на трасі не більш як 60°. Як чинник, що впливає на очікуване значення *XPD* за умов дощу, наводиться також опис емпіричної поправки на деполяризацію за рахунок льоду.

Характеристики поширення радіохвиль і методи їх передбачення на трасах тропосферних РРЛ (ТРЛ) наводяться в Рекомендації Р.617 МСЕ-Р [119] для дев'яти кліматичних регіонів світу у вигляді середньорічних втрат передавання для різних частот і часток (у відсотках) часу та різної довжини трас.

Моделі поширення радіохвиль у радіослужбах мовлення та системах «точка-зона» («точка-багатоточка», безпроводовий доступ, локальні радіомережі) у діапазоні частот від 300 МГц до 100 ГГц містяться в Рекомендаціях Р.1146, Р.1238, Р.1410, Р.1411, Р.1546-2 [98; 120–123].

2.2.3.4. Діапазон частот понад 20 ГГц

Основні переваги використання цього діапазону частот, що забезпечують надзвичайні можливості для розподілу та присвоєння частот, безперечно, полягають у широкій доступній смузі частот та менших за розмірами антенах. Головний недолік — висока схильність піддаватись атмосферним ефектам, що призводять до значних послаблень сигналу та обмежують або й унеможливають застосування багатьох систем радіозв'язку. Проте такі ефекти послаблення можна також використати заради забезпечення захисту систем від завад з огляду на значно вищі втрати у вільному просторі на цих частотах.

Цей діапазон частот характеризується «вікнами», які являють собою смуги з порівняно низьким послабленням, та смугами поглинання, де спостерігається дуже високе послаблення. Вікна та смуги поглинання визнача-

ються, передусім, поглинальними властивостями газів, здебільшого кисню та водяної пари. Поглинання в кисні досягає максимуму на частотах 60 та 119 ГГц, а поглинання у водяній парі — поблизу частот 22 ГГц та 183 ГГц. Проте сліди газів можуть істотно впливати на послаблення за відсутності водяної пари на частотах понад близько 70 ГГц. Методика визначення середніх значень густини водяної пари в атмосфері поблизу земної поверхні, що відчутно впливає на системи, які працюють на частотах понад 20 ГГц, наведено в Рекомендації Р.836 МСЕ-Р [124].

Опади, особливо у вигляді дощу, сприяють сильному поглинанню та розсіюванню радіохвиль, а також, меншою мірою, обертанню площини поляризації хвиль. Ці ефекти мають схильність до поєднання, що викликає значне послаблення. Розрахунки погонного послаблення на даних частотах великою мірою залежать від мікроструктури дощу (наприклад, температури, розподілу кінцевої швидкості, розмірів і форми крапель тощо) та утруднюються через нестачу точних емпіричних даних та складність моделювання мікроструктури дощу.

2.2.4. Моделі поширення радіохвиль діапазону ультрависоких частот

Інтерес до цих моделей пояснюється передусім *необхідністю розв'язання завдань частотно-територіального планування мереж радіозв'язку* (найчастіше — мобільного, що стрімко розвивається) на основі прогнозування можливих зон обслуговування та взаємозавад у мережах.

Під прогнозом розуміється ймовірне судження, висловлене на підставі спеціальних розрахунків. При цьому для зменшення просторової невизначеності прогнозу спираються не на гіпотетичне розміщення випромінювачів та приймачів, а на реальний стан середовища.

Прогноз «покриття зони» електромагнітним полем випромінювачів визначається як імовірнісне судження про виконання вимог до якості функціонування системи. Якщо обмежуватися лише енергетичною моделлю в радіолініях, то характер флуктуації амплітуди напруженості поля можна оцінювати медіанним значенням рівня поля, середньоквадратичним відхиленням його флуктуації та параметром, що характеризує наявність (зв'язаність системи) або відсутність умов прямої видимості між антенами під час ПРХ.

Медіанне значення напруженості поля визначається з «кривих поширення» (Рекомендації Р.1546-2 та РН. 529 [125] МСЕ-Р), які являють собою функціональну залежність $E = E(f, r, h_1, t)$, де f — частота (смуга частот); r — відстань між антенами випромінювача та приймача; h_1 — ефективна висота антени випромінювача, t — час, протягом якого напруженість поля перевищує прогнозований рівень, %.

Статистичні методи ґрунтуються на тривалому вивченні умов поширення сигналу в реальних умовах. Закономірності, виведені на основі відповідних вимірювань, дають уявлення про залежність втрат від відстані за тих чи інших стандартних умов, кількість яких скінченна.

Статистичні методи найчастіше застосовуються для розрахунку втрат на трасі поширення в умовах міста, тоді як детерміновані методи найбільш придатні тоді, коли траса пролягає по дуже нерівній місцевості з перешкодами великого розміру.

Загалом альтернативою статистичним методам прогнозування є детерміновані, в яких методики прогнозування якості зв'язку (або, коли йдеться

про ЕМС, — рівня радіозавад) базуються на врахуванні двох чинників впливу перешкод на трасі ПРХ, а також впливу місцевих умов.

Детерміновані методи потребують побудови профілю траси радіозв'язку, а через це обсяг обчислень у цьому разі істотно більший.

Перешкоди апроксимуються геометричними фігурами, такими як паралелепіпед, півнескінченна парабола, конус, циліндр, клин, призма тощо. При розрахунках кожній фігурі відповідає різна точність та швидкість розрахунку загасання електромагнітного поля. Найменшу точність за найвищою швидкості дає апроксимація перешкоди клином.

Отже, для передбачення втрат на трасі поширення застосовують дві групи методів — *статистичні* та *детерміновані*. При цьому моделі можуть бути плоскими та об'ємними (тривимірними у просторі).

У першому випадку методика розрахунку загасання передбачає побудову профілю траси радіозв'язку, а обчислення виконуються з використанням вихідних даних.

У другому випадку розглядається або об'єм першої зони Френеля, або об'єм, який дає змогу врахувати можливість приходу радіохвилі в точку приймання багатьма шляхами («трасова багатошляховість»).

Варто зазначити, що програмна реалізація дифракційної аналітичної моделі доволі трудомістка.

Аналіз моделей ПРХ показує, що в різних конкретних випадках, для різних радіоліній при визначенні (або прогнозуванні) загасання енергії (W_r) від випромінювачів (як корисних радіосигналів, так і радіозавад) змінюються лише способи моделювання W_r та методи визначення числових параметрів запропонованої моделі (індекс «т» — від слова «траса»).

Типові розв'язання за статистичними моделями можна класифікувати так.

Модель Окамури. Моделі Хати (1980 р.) передувала модель Окамури (1968 р.), згідно з якою напруженість поля в точці приймання визначається за емпіричною формулою, дБ:

$$E = E_0 - A(r/f) + H_1(h_1, r) + H_2(h_2, r) + K_1 + K_2 + K_3 + K_4,$$

де E_0 — напруженість поля, що визначається загасанням енергії хвиль у вільному просторі; $H_1(h_1, r)$ і $H_2(h_2, r)$ — «висотні» коефіцієнти для передавальних і приймальних антен; K_1, K_2, K_3, K_4 — коефіцієнти, що враховують відповідно характер забудови місцевості, горбистість та гористість її рельєфу, наявність перешкод типу «суша–море–суша».

Модель Окамури базується на великому обсязі експериментальних графіків залежності медіанного значення L від даних, які є вихідними для проектування на частотах 100...13000 МГц при висотах стаціонарних антен $h_1 = 20...1000$ м та мобільних $h_2 = 1...10$ м на відстанях між ними $r = 1...100$ км. Рельєф місцевості передбачається при цьому характерним для приміської зони, середнього за розміром міста та мегаполісу.

Модель Хати. Ця модель є найбільш універсальною статистичною моделлю для прогнозування втрат сигналу за різних умов. Вона ґрунтується на аналітичній апроксимації результатів практичних вимірювань. Набір емпіричних формул та поправочних коефіцієнтів, отриманий у результаті такої апроксимації, дає змогу обчислити середні втрати для різних типів місцевості.

У районах із типовою міською забудовою (typical urban) втрати становлять

$$L_{\text{urban}} = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_1 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \lg r + a(h_2) + a(v_r) + a(b) + a(h_1, f),$$

де f — робоча частота, МГц; h_1 і h_2 — висота, м, розміщення відповідно передавальної і приймальної антени; r — відстань, км, між ними.

Поправочний коефіцієнт $a(h_2)$ залежить від типу місцевості, де функціонує система зв'язку. Для малих і середніх міст

$$a(h_2) = (1,1 \lg f - 0,7) h_2 - 1,56 \lg f + 0,8;$$

для великих міст

$$a(h_2) = 8,29 (\lg 1,54 h_2)^2 - 1,1, \quad \text{якщо } f < 200 \text{ МГц};$$

$$a(h_2) = 3,2 (\lg 1,75 h_2)^2 - 4,97, \quad \text{якщо } f > 200 \text{ МГц}.$$

Коефіцієнт $a(v_r) = (1 - v_r) [(1 - 2v_r)\gamma_1 + 4v_r\gamma_2]$ враховує характер місцевості: $v_r = 0$ (для сільської місцевості), $v_r = 0,5$ (приміська зона), $v_r = 1$ (місто).

Допоміжні коефіцієнти γ_1 та γ_2 обчислюються за формулами:

$$\gamma_1 = 4,78 (\lg f)^2 - 18,33 \lg f + 40,94;$$

$$\gamma_2 = 2 \left[\lg(f/28)^2 + 5,4 \right].$$

Коефіцієнт $a(b) = 25 \lg b - 30$ залежить від щільності b міської забудови.

Коефіцієнт $a(h_1, f)$ ураховує сферичність Землі, яку необхідно брати до уваги при $0,2r_0 < r < 0,8r_0$, де r_0 — відстань прямої видимості.

Для типових приміських районів (typical suburban) втрати, дБ, визначаються так:

$$L_{\text{suburban}} = L_{\text{urban}} - 21 \lg(f/28) - 5,4.$$

Для напіввідкритої місцевості

$$L_{\text{suburban}} = L_{\text{urban}} - 4,78 \lg f + 18,33 \lg f - 35,94.$$

Для відкритої, сільської місцевості (rural)

$$L_{\text{suburban}} = L_{\text{urban}} - 4,78 \lg f + 18,33 \lg f - 40,94.$$

Наведені формули забезпечують задану точність для $f = 100 \dots 3000$ МГц; $h_1 = 25 \dots 300$ м; $h_2 = 1 \dots 10$ м; $r = 1 \dots 100$ км.

Щільність міської забудови передбачається 3–50% (найбільш імовірне значення становить близько 16%), а ступінь урбанізації — від 0 до 1.

Залежності значення втрат L_{urban} , отримувані в результаті використання моделі Хати, від відстані r , частоти (для смуги 900 МГц) та висоти встановлення антени базової станції наведено на рис. 2.6.

Ті самі залежності для смуги частот 1800 МГц та висоти антени 50 м унаочнює рис. 2.7. Порівняльну характеристику втрат на частотах 900 та 1800 МГц для висоти приймальної антени, що дорівнює 1,5 м, наведено на рис. 2.8.

Зауважимо, що програмна реалізація моделі Хати не становить труднощів, оскільки функція містить усього п'ять аргументів:

- 1) середню частоту, МГц;
- 2) висоту встановлення передавальної антени, м;
- 3) відстань між передавальною та приймальною антенами, м;
- 4) тип місцевості, де відбувається ПРХ;
- 5) висоту приймальної антени, м.

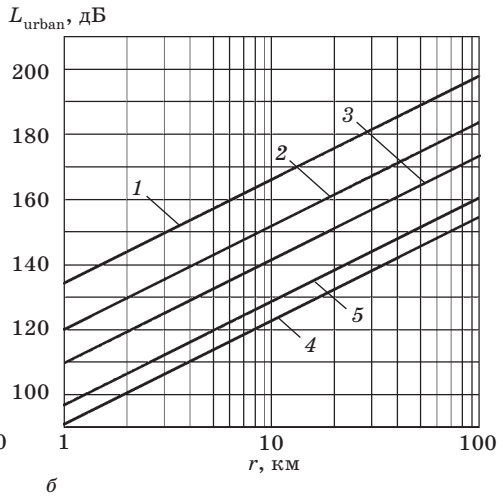
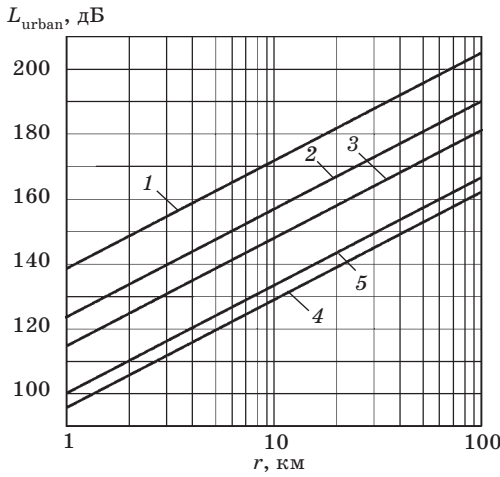


Рис. 2.6. Графіки залежності втрат L_{urban} , обчислюваних згідно з моделлю Хати, від відстані r і частоти (смуга 900 МГц) для різних значень висоти встановлення антени базової станції (а — 50 м, б — 100 м) та різних типів місцевості: 1 — усередині міських будівель; 2 — міська місцевість; 3 — приміська місцевість; 4 — відкрита місцевість; 5 — сільська місцевість

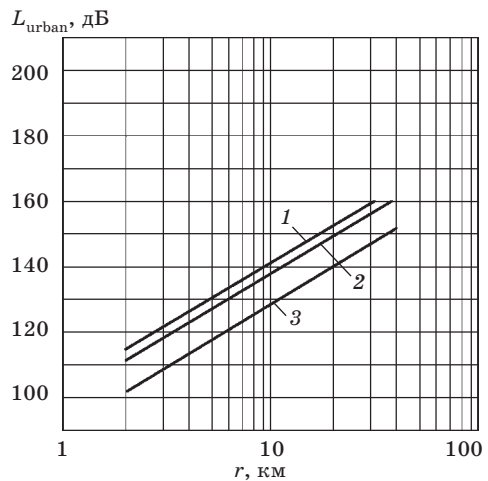
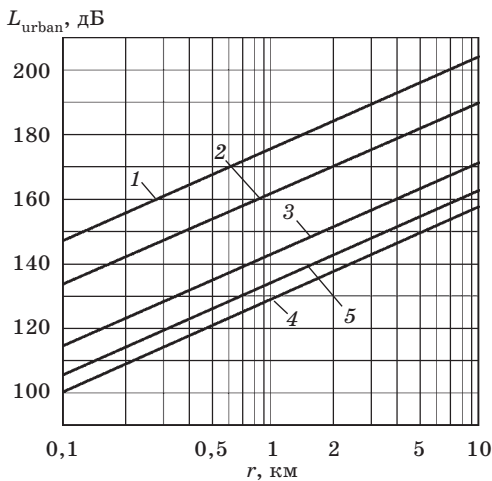


Рис. 2.7. Графіки залежності втрат L_{urban} , обчислюваних згідно з моделлю Хати, від відстані r і частоти (смуга 1800 МГц), коли висота встановлення антени базової станції дорівнює 50 м, для різних типів місцевості: 1 — усередині міських будівель; 2 — міська місцевість; 3 — приміська місцевість; 4 — відкрита місцевість; 5 — сільська місцевість

Рис. 2.8. Порівняння втрат на частотах 900 та 1800 МГц для висоти приймальної антени, що дорівнює 1,5 м: 1 — DCS 1800 (місто); 2 — GSM 900; 3 — DCS 1800 (приміська місцевість)

Модель Хати не охоплює всіх результатів, що їх здобув Окамура, і справджується для «квазіплоского» міста (з урахуванням обмежень моделі Хати). Моделі Окамури й Хати зафіксовано в документах МСЕ-Р PN.529 [125] та рекомендаціях ETSI.

Модель Ксея–Бергоні. Ця модель дає змогу врахувати низку додаткових параметрів, забезпечивши тим самим вищу точність розрахунку порівняно з моделлю Хати.

Розглядувану модель побудовано на основі рівнянь хвильової оптики з урахуванням різних механізмів поширення радіохвиль, а саме: за умов міської забудови; у вільному просторі; у разі дифракції на краях дахів будівель та відбиття від їхніх стін. Зазначаючи інтерференції в точці приймання, промені, що надійшли різними шляхами, формують сумарний сигнал. Коли антену передавальної станції розміщено вище від середнього рівня дахів будівель, то в точку приймання приходять два промені: один у результаті дифракції на краю даху будівлі, а другий — після перевідбиття від стіни.

Середні втрати в такому разі

$$L = -10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2\right] - 10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{4\pi^2 r}\right)\left(\frac{1}{\vartheta} - \frac{1}{(2\pi - \vartheta)}\right)\right] - 10\lg\left\{2,35^2\left(\frac{\Delta h}{r}\sqrt{d/\lambda}\right)^{1,3}\right\},$$

де λ — довжина хвилі, м; $r = (\Delta h^2 + x^2)^{0,5}$ — відстань між приймальною та передавальною антенами, м (Δh — різниця висот передавальної антени та середнього рівня дахів, м; x — відстань по горизонталі між передавальною антеною та краєм даху, де дифрагує хвиля, м, зазвичай береться такою, що дорівнює половині середньої ширини вулиць); d — середній інтервал між кварталами, м.

Так, у місті з чотириповерховою забудовою (висота поверху становить близько 3 м), вулицями завширшки 60 м та інтервалами між кварталами завдовжки 80 м, маємо $\Delta h = 10,5$ м, $x = 30$ м, $d = 80$ м.

Модель Ксея–Бергоні дає змогу оцінити середній рівень втрат і в тих випадках, коли передавальну антену (наприклад, базової станції) розміщено на рівні дахів або нижче за них (такі прийоми застосовують, коли необхідно «засвітити» обмежену локальну область: площу, сквер тощо).

У разі, коли антену розміщено на рівні дахів, маємо:

$$L = -10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{\sqrt{2\pi r}}\right)^2\right] - 10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{\pi^2 r}\right)\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{(2\pi + \theta)}\right)^2\right] - 10\lg(d/r)^2.$$

Якщо антену розміщено нижче від рівня дахів, то дістаємо

$$L = -10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{\sqrt{2\pi r}}\right)^2\right] - 10\lg\left[\left(\frac{\lambda}{\pi^2 r}\right)\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{(2\pi + \theta)}\right)^2\right] - 10\lg(d/r)^2 \left(\frac{\lambda}{\sqrt{\Delta h^2 + d^2}}\right)\left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{(2\pi + \varphi)}\right)^2,$$

де $\varphi = \arctg(\Delta h/d)$.

Реалізація моделі Ксея–Бергоні у програмному виконанні складніша, оскільки використовується 11 параметрів, зокрема середня висота дахів навколишніх будівель та середня відстань між кварталами.

Модель Волфіша–Ікегамі. Згідно з моделлю Волфіша–Ікегамі (рекомендовано ETSI 1994 року для стандарту стільникового зв'язку GSM) медіанне значення загасання визначається за емпіричною формулою

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3,$$

де L_1 , L_2 , L_3 — втрати відповідно при поширенні радіохвиль у вільному просторі, за рахунок відбиття від будівель і за рахунок рефракції.

У даному випадку маємо:

$$L_1 = 32 + 20\lg(r/f),$$

де r — відстань між БС та МС, м; f — частота, МГц;

$$L_2 = -16,9 - 10 \lg w + 10 \lg (f/\Delta h) + L_p,$$

де w — ширина вулиць, зазвичай 10...15 м, Δh — різниця між середньою висотою прилеглих до передавальної антени (наприклад, базової станції) будівель та висотою приймальної антени, L_p — втрати, зумовлені орієнтацією вулиць відносно напрямку приходу сигналу

$$L_p = \begin{cases} -10 + 0,354 \operatorname{tg} \varphi, & \text{якщо } 0 \leq \varphi < 35^\circ; \\ 2,5 + 0,075 \operatorname{tg} (\varphi - 35^\circ), & \text{якщо } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ; \\ 4 + 0,114 \operatorname{tg} (\varphi - 35^\circ), & \text{якщо } 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ, \end{cases}$$

де φ — орієнтація вулиці відносно напрямку приходу хвилі;

$$L_3 = L_c + L_a + L_d + k_d \lg r + k_f \lg f - 9 \lg d,$$

де

$$L_c = \begin{cases} 18 \lg [1 + (h_1 + h_{d1})], & \text{якщо } h_1 > h_{d1}; \\ 0, & \text{якщо } h_1 \leq h_{d1}. \end{cases}$$

Тут h_{d1} — середня висота прилеглих до передавальної антени будівель, м; d — відстань між будівлями, м; h_1 — висота передавальної антени (базової станції), м;

$$L_a = \begin{cases} 54, & \text{якщо } h_1 > h_{d1}; \\ 54 - 0,8(h_1 - h_{d1}), & \text{якщо } r \geq 0,5 \text{ км і } h_1 \leq h_{d1}; \\ 54 - 0,4(h_1 - h_{d1}), & \text{якщо } r < 0,5 \text{ км і } h_1 \leq h_{d1}; \end{cases}$$

$$L_d = \begin{cases} 18, & \text{якщо } h_1 > h_{d1}; \\ 18 - 15(h_1 - h_{d1})/h_{d1}, & \text{якщо } h_1 \leq h_{d1}; \end{cases}$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0,7(f/925 - 1) & \text{— для міста середніх розмірів і передмістя} \\ & \text{з помірними лісонасадженнями;} \\ 18 - 15(h_1 - h_{d1})/h_{d1} & \text{— для великого міста (мегаполісу).} \end{cases}$$

Область застосування моделі — смуга частот 800...2000 МГц; висота антени базової станції — 4...50 м; висота антени мобільної станції — 1...3 м; відстань $r = 0,02...5$ км; висота прилеглих до базової станції будівель не перевищує 8,0 м; відстань між будівлями — 20...50 м; ширина вулиці — 10...25 м, орієнтація вулиці відносно напрямку приходу сигналу може змінюватися від 0 до 90°. Отже, ця модель — на відміну від інших, ураховує можливість приходу хвилі до точки приймання кількома шляхами із подальшим додаванням.

Утім ця модель порівняно з двома попередніми потребує додаткової інформації, такої як орієнтація вулиць відносно напрямку приходу сигналу. Але подати дані щодо орієнтації вулиць у форматі, зручному для розпізнавання програмними методами, доволі складно.

Модель Сакагамі—Кубої. У ній середній рівень втрат (без деталізації) оцінюється так:

$$L = 100 - 7,11 \lg w - 0,023 \pi \varphi + 1,41 \lg h_2 + 6,11 \lg h_{d2} - \\ - [24,37 - 3,7(\lg h_{d1}/h_1)^2] \lg (h_1 - h_2) + (43,42 - 3,11 \lg h_{d1}) \lg r + \\ + 20 \lg f + \exp(13 \lg f - 3,23).$$

Область застосовності моделі поширюється на частоти 450...2200 МГц для $r \approx 0,5...10$ км, якщо різниця висот передавальної та приймальної антен ста-

новить 20...100 м (за умови, що середня висота прилеглих будівель перевищує висоту антени h_1 , а середня висота будівель поблизу приймальної антени дорівнює 5...50 м). Орієнтація вулиці відносно напрямку приходу хвилі може змінюватися від 0 до 90°.

Модель Парсона. Згідно з моделлю Парсона середнє значення втрат L у децибелах визначається зі співвідношення

$$L = 20\lg(0,7h_1) + 81\lg h_2 - 0,025f - 26\lg(0,025f) + 86\lg\left[\frac{(f+100)}{156}\right] - \left\{40 + 14,5\lg\left[\frac{(f+100)}{156}\right]\right\}\lg r - 0,265\delta + 0,37(h_1 - h_2) - 0,087v + 5,5,$$

де h_1 і h_2 — висота встановлення антени відповідно базової та абонентської станції, м; f — частота сигналу, МГц; r — відстань між антенами базової та абонентської станцій, м; δ — щільність міської забудови, $\delta = 0-50\%$; v — ступінь урбанізації навколишнього середовища, $v = 0-100\%$.

Модель застосовна за таких умов: область частот — від 150 до 1000 МГц; $h_1 = 30...300$ м та $h_2 < 3$ м; відстань $r < 10$ км; щільність міської забудови $\delta = 0...50\%$; ступінь урбанізації $v = 0-100\%$ (середнє та велике місто). Модель Парсона для «квазіплоского» міста, коли дифракційними втратами можна знехтувати, у зоні застосовності формули Введенського набирає вигляду

$$L = 136 - 20\lg(h_1 h_2) + 40\lg r + 20\lg\left[\frac{(h_1 - h_2)}{\sqrt{d\lambda}}\right] + \gamma,$$

де γ визначається за спеціальним графіком.

Розрахунки за наведеними формулами дають результати, що майже збігаються із результатами моделі Окамури.

Модель Акеями. Додаткове послаблення, що враховує вплив міської забудови, згідно з моделлю Акеями визначається так:

$$L = \begin{cases} -3,74\lg a - 9,75(\lg a)^2 + 20,1, & \text{якщо } a \leq 5; \\ -19\lg a + 26,1, & \text{якщо } 5 < a \leq 40, \end{cases}$$

де a — частка (у відсотках) території, забудованої спорудами підвищеної поверховості.

Модель Акеями, що дає змогу підвищити точність розрахунків за умов міста, може застосовуватися в поєднанні з іншими моделями (наприклад, моделлю НДІР).

Зауважимо, що існує методика, яка дає змогу оцінити додаткові втрати, дБ, у листі дерев, наприклад за такою моделлю:

$$L = \begin{cases} 1,33f^{0,284} d^{0,588}, & \text{якщо } 14 \leq d < 400; \\ 0,45f^{0,284} d, & \text{якщо } 0 < d \leq 14, \end{cases}$$

де f — частота, ГГц; d — довжина ділянки траси, яка проходить через ліс або парк, м.

Модель Бардіна–Димовича. Напруженість поля, мкВ/м, у разі радіального та поперечного розташування вулиць міста обчислюється за такими формулами:

$$E_{\text{рад}} = 0,14bh_1^{1,5}h_2P^{0,5}/\lambda^{1,5}(H-h_2)r^{-2,5},$$

$$E_{\text{попер}} = 0,019(h_1-H)[P\lambda/(H-h_2)]^{0,5}V_0r^{-2},$$

де P — ефективна потужність випромінювання, кВт (з урахуванням коефіцієнта підсилення антени); b — половина довжини вулиці, м; H — середній рівень дахів прилеглих будівель, м; h_1 і h_2 — висота встановлення відповідно першої і другої антени; r — відстань між антенами, м; $V_0 = 10 \dots 150$ — множник, який визначається графічним способом для $(H - h_2)/b = 0,2 \dots 2$.

Модель дає прийнятні результати на відстанях 5...25 км при $h_1 = 1 \dots 3$ м.

У всіх моделях можна додатково врахувати втрати на проникнення енергії хвиль у будівлі та автомобілі.

Наприклад, орієнтовне значення втрат для частоти 1800 МГц на проникнення в будівлю становить 15 дБ, а в автомобіль — 8 дБ.

Можна підвищити точність оцінювання втрат з урахуванням проникнення в будівлю через m залізобетонних перекриттів $L_{\text{буд}}(m)$, дБ, скориставшись даними табл. 2.4.

Таблиця 2.4.

Втрати передавання для різних будівель із залізобетонними перекриттями

Частота, ГГц	Втрати передавання $L_{\text{буд}}(m)$, дБ		
	Житлове приміщення	Офіс	Торговецьке приміщення
0,9	—	9 ($m = 1$) 19 ($m = 2$) 24 ($m = 3$)	—
1,8...2	4 м	15 + 4 ($m - 1$)	6 + 3 ($m - 1$)

Втрати передавання $L_{\text{буд}}(m)$ на частотах 1...2,7 ГГц у сухих дерев'яних та цегляних стінах досягають 5...8 дБ; у залізобетонних стінах 6...12 дБ (у вологих стінах втрати збільшуються у 3–4 рази). При проходженні через багатоповерхові перекриття сигнал із частотою 2,7 ГГц у цегляній будівлі послаблюється на 7,5, а в залізобетонній — на 12 дБ.

Насамкінець зазначимо, що статистичні моделі не дають результатів, що гарантували б упевнене приймання в межах зони обслуговування із заданою якістю: в деяких місцях протягом певної частки часу рівні напруженості поля можуть бути недостатніми для прийнятної якості приймання.

Статистичні моделі потребують незначного обсягу картографічної інформації, а відповідні алгоритми доволі прості, тож вони легко реалізуються програмно.

Зі статистичних моделей найбільш універсальними є модель Окамури–Хати, яка дає змогу оцінити медіанне значення втрат для великих і середніх міст, а також приміської зони і сільських районів, та модель Ксея–Бертоні, яка забезпечує точніші результати для умов міста.

ЗАДАЧІ

Задача 1. Визначити втрати в реальних умовах при передаванні сигналу на відстань 60 км для частоти 6 ГГц, якщо додаткові втрати при передаванні $W_T = 25$ дБ. Знайдене значення подати в децибелах.

Розв'язання. Втрати передавання (загасання радіохвиль) можна подати у вигляді суми двох компонентів:

$$W = W_0 + W_T,$$

де W_0 — основні втрати (загасання) радіохвиль у вільному просторі, тобто загасання на трасі (інтервалі) без урахування впливу поверхні Землі, неоднорідностей та змін умов рефракції радіохвиль в атмосфері; W_T — додаткові втрати (загасання) радіохвиль, спричинювані рельєфом місцевості та завмираннями на трасі (інтервалі).

Основні втрати у вільному просторі визначаються за формулою

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2},$$

де R — протяжність траси зв'язку (яка в даному разі дорівнює 60 км); λ — робоча довжина хвилі, м.

Для даної частоти 6 ГГц маємо $\lambda = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(60 \cdot 10^3)^2}{(5 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{3600}{25} \cdot 10^{10} = 2,2740 \cdot 10^{14} = 143,6 \text{ (дБ)}.$$

Отже, остаточно маємо:

$$W = W_0 + W_T = 143,6 + 25 = 168,6 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Втрати передавання в реальних умовах становлять 168,6 дБ.

Задача 2. Визначити втрати в реальних умовах при передаванні сигналу на відстань 25 км для частоти 6 ГГц, якщо додаткові втрати при передаванні $W_T = 25$ дБ. Знайдене значення подати в децибелах.

Розв'язання. Втрати передавання (загасання радіохвиль) можна подати у вигляді суми двох компонентів:

$$W = W_0 + W_T,$$

де W_0 — основні втрати (загасання) радіохвиль у вільному просторі, тобто загасання на трасі (інтервалі) без урахування впливу поверхні Землі, неоднорідностей та змін умов рефракції радіохвиль в атмосфері; W_T — додаткові втрати (загасання) радіохвиль, спричинювані рельєфом місцевості та завмираннями на трасі (інтервалі).

Основні втрати у вільному просторі визначаються за формулою

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2},$$

де R — протяжність траси зв'язку (яка в даному разі дорівнює 25 км); λ — робоча довжина хвилі, м.

Для даної частоти 2 ГГц маємо $\lambda = 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Виконуючи обчислення, дістаємо:

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(25 \cdot 10^3)^2}{(15 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{625}{225} \cdot 10^{10} = 4,39 \cdot 10^{12} = 126,4 \text{ (дБ)}.$$

Отже, остаточно маємо:

$$W = W_0 + W_T = 126,4 + 25 = 151,4 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Втрати передавання в реальних умовах становлять 151,4 дБ.

Задача 3. Визначити втрати в реальних умовах при передаванні сигналу на відстань 60 км для частоти 2 ГГц, якщо додаткові втрати при передаванні $W_T = 32 \text{ дБ}$. Знайдене значення подати в децибелах.

Розв'язання. Втрати передавання (загасання радіохвиль) можна подати у вигляді суми двох компонентів:

$$W = W_0 + W_T,$$

де W_0 — основні втрати (загасання) радіохвиль у вільному просторі, тобто загасання на трасі (інтервалі) без урахування впливу поверхні Землі, неоднорідностей та змін умов рефракції радіохвиль в атмосфері; W_T — додаткові втрати (загасання) радіохвиль, спричинювані рельєфом місцевості та завмираннями на трасі (інтервалі).

Основні втрати у вільному просторі визначаються за формулою

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2},$$

де R — протяжність траси зв'язку (яка в даному разі дорівнює 60 км); λ — робоча довжина хвилі, м.

Для даної частоти 2 ГГц маємо $\lambda = 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(60 \cdot 10^3)^2}{(15 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{36000}{225} \cdot 10^{10} = 252,7 \cdot 10^{12} = 142,4 \text{ (дБ)}.$$

Отже, остаточно маємо:

$$W = W_0 + W_T = 142,4 + 32 = 174,4 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Втрати передавання в реальних умовах становлять 174,4 дБ.

Задача 4. Визначити втрати в реальних умовах при передаванні сигналу на відстань 60 км для частоти 10 ГГц, якщо додаткові втрати при передаванні $W_T = 25 \text{ дБ}$. Знайдене значення подати в децибелах.

Розв'язання. Втрати передавання (загасання радіохвиль) можна подати у вигляді суми двох компонентів:

$$W = W_0 + W_T,$$

де W_0 — основні втрати (загасання) радіохвиль у вільному просторі, тобто загасання на трасі (інтервалі) без урахування впливу поверхні Землі, неоднорідностей та змін умов рефракції радіохвиль в атмосфері; W_T — додаткові втрати (загасання) радіохвиль, спричинювані рельєфом місцевості та завмираннями на трасі (інтервалі).

Основні втрати у вільному просторі визначаються за формулою

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2},$$

де R — протяжність траси зв'язку (яка в даному разі дорівнює 60 км);
 λ — робоча довжина хвилі, м.

Для даної частоти 10 ГГц маємо $\lambda = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(60 \cdot 10^3)^2}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{36000}{9} \cdot 10^{10} = 6317,5 \cdot 10^{12} = 158 \text{ (дБ)}.$$

Отже, остаточно маємо:

$$W = W_0 + W_T = 158 + 25 = 183 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Втрати передавання в реальних умовах становлять 183 дБ.

Задача 5. З урахуванням енергетичних втрат визначити необхідне відношення сигнал/шум для системи цифрового зв'язку з ФМ-4 за умови, що потрібно забезпечити ймовірність появи похибки, яка дорівнює 10^{-6} .

Розв'язання. Енергетичні втрати Δ показують, на яку величину необхідно збільшити відношення сигнал/шум на вході демодулятора в реальному каналі зв'язку порівняно з ідеальним, щоб на його виході отримати ту саму якість цифрового сигналу, тобто таку саму ймовірність похибок (яка в даному разі дорівнює 10^{-6}). Отже, маємо співвідношення:

$$C/\text{Ш}_{\text{реал}} = C/\text{Ш}_{\text{ідеал}} + \Delta.$$

Як відомо (згідно з рекомендаціями МСЕ), енергетичні втрати визначаються зі співвідношення

$$\Delta = 3 + 0,7 \lg M,$$

де M — кількість рівнів маніпуляції фази радіосигналу, а відношення $C/\text{Ш}_{\text{ідеал}}$ дорівнює 14 дБ.

Остаточно маємо:

$$C/\text{Ш}_{\text{реал}} = 14 + 3 + 1,4 = 18,4 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Шукане відношення дорівнює 18,4 дБ.

Задача 6. Визначити повні втрати (загасання) при передаванні сигналу на робочій частоті 4 ГГц в реальних умовах на трасі зв'язку довжиною 40 км з урахуванням загасання $W_p = 22$ дБ, спричиненого рельєфом місцевості та тропосферою, а також загасанням, до якого призводять завмирання сигналу (за рахунок інтерференції) у разі однієї відбитої хвилі та ідеальної відбивальної поверхні ($\psi = 1$), якщо різницевий хід променів $\Delta r = 2,5$ см.

Розв'язання. Повні втрати (загасання) радіохвиль в реальних умовах на трасі зв'язку можна подати у вигляді суми трьох компонентів:

$$W = W_0 + W_p + W_z,$$

де W_0 — основні втрати (загасання) радіохвиль у вільному просторі; W_p — додаткові втрати (загасання) радіохвиль, спричинювані рельєфом місцевості та тропосферою; W_z — додаткові втрати (загасання) радіохвиль, спричинювані завмираннями сигналу на трасі (інтервалі) зв'язку.

Основні втрати W_0 при передаванні у вільному просторі визначаються за формулою

$$W_0 = \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right)^2,$$

де R_0 — протяжність траси зв'язку, км; λ — робоча довжина хвилі, м.

Підставивши значення R_0 і λ , дістаємо:

$$W_0 = \left(\frac{4\pi \cdot 40 \cdot 10^3}{7,5 \cdot 10^{-2}} \right)^2 = 4,492 \cdot 10^{13} = 136,5 \text{ (дБ)}.$$

Додаткові втрати $W_p = 22$ дБ.

Додаткові втрати W_3 визначаються квадратом модуля множника послаблення V , який при одній відбитій хвилі обчислюється за формулою

$$V^2 = 1 + \psi^2 + 2\psi \cos \gamma,$$

де ψ — модуль коефіцієнта відбиття від земної поверхні; $\gamma = \frac{2\pi \cdot \Delta r}{\lambda}$ — зсув фаз між інтерферуючими хвилями; Δr — різниця ходу між інтерферуючими хвилями.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$V^2 = 1 + 1 + 2 \cos \left(\frac{2\pi \cdot \Delta r}{\lambda} \right) = 3.$$

Звідси

$$W_3 = 10 \lg V^2 = 10 \lg 3 = 4,8 \text{ (дБ)}.$$

Отже, остаточно маємо:

$$W = W_0 + W_p + W_3 = 136,5 + 22,0 + 4,8 = 163,3 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Повні втрати становлять 163,3 дБ.

Задача 7. Обчислити значення критичного просвіту H_0 для радіорелейного інтервалу зв'язку протяжністю $R_0 = 40$ км, профіль якого має найвищу точку поверхні, віддалену від передавальної станції на відстань 16 км. На радіолінії використовується НВЧ обладнання, яке працює на середній частоті 3660 МГц.

Розв'язання. Значення критичного просвіту H_0 визначається за формулою

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda k (1-k)},$$

де R_0 — протяжність траси, км; λ — робоча довжина хвилі, м; k — відносна координата найвищої точки профілю траси.

Обчислюємо значення k :

$$k = \frac{R_1}{R_0} = \frac{16}{40} = 0,4.$$

За формулою визначаємо просвіт H_0 :

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \cdot 10^3 \lambda \cdot 10^{-2} k (1-k)} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 40 \cdot 10^3 \cdot 8,2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,4 (1-0,4)} = 16,2 \text{ (м)}.$$

В і д п о в і д ь. Значення критичного просвіту становить 16,2 м.

Задача 8. Визначити значення просвіту H , при якому приймальна антена радіорелейної лінії зв'язку потрапляє в перший інтерференційний мінімум, якщо відомо, що відстань між передавальною і приймальною радіорелейними станціями $R_0 = 38$ км, робоча частота 7954 МГц, найвища точка профілю віддалена від передавальної станції на відстань $R_1 = 14$ км.

Розв'язання. Скористаємося формулою

$$P(g)_{\min} = \sqrt{6n}, \quad (*)$$

(де $n = 1, 2, 3, \dots$ — номер інтерференційного мінімуму) для відносного значення просвіту при мінімальних значеннях множника просвіту V_n (інтерференційні мінімуми), які спостерігаються за умови

$$\cos \frac{\pi}{3} P^2(g) = 1.$$

Із формули (*) випливає, що перший інтерференційний мінімум ($n = 1$) настане при

$$P(g)_{\min} = \frac{H(g)}{H_0} = \sqrt{6n} = \sqrt{6}.$$

Відносна координата найвищої точки профілю

$$k = \frac{R_1}{R_0} = \frac{14}{38} = 0,368.$$

Довжина робочої хвилі

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3,77 \text{ см.}$$

Беручи до уваги формулу для критичного просвіту H_0

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda k (1 - k)},$$

обчислюємо значення $H(g)$, при якому досягається перший інтерференційний мінімум:

$$\begin{aligned} H(g)_{\min} &= H_0 \cdot P(g)_{\min} = \sqrt{6} \cdot H_0 = \sqrt{6} \cdot \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda k (1 - k)} = \\ &= \sqrt{\frac{6}{3} 38 \cdot 10^3 \cdot 3,77 \cdot 10^{-2} \cdot 0,368 (1 - 0,368)} = 25,8 \text{ (м)}. \end{aligned}$$

В і д п о в і д ь. Значення просвіту становить $25,8$ м.

Задача 9. Визначити сумарну напруженість поля в точці прийому для радіорелейної лінії зв'язку при наявності ідеальної відбивальної поверхні ($\Phi = 1$), якщо $R_0 = 45$ км, $h_1 = 35$ м, $h_2 = 45$ м, $E_{\text{пр}} = 6$ мкВ/м і $F = 5$ ГГц.

Рефракції немає. Кривину земної поверхні не враховувати. Зсув фази у точці відбиття вважати таким, що дорівнює π .

Розв'язання. Схему радіорелейної лінії зв'язку, що відповідає умовам задачі, наведено на рис. 1.

Зсув фази відбитої хвилі на π свідчить про те, що поверхня Землі гладенька та ідеально відбивальна.

Амплітуду прямого променя на вході приймальної антени позначимо

$$U_c \sin \varpi_c t.$$

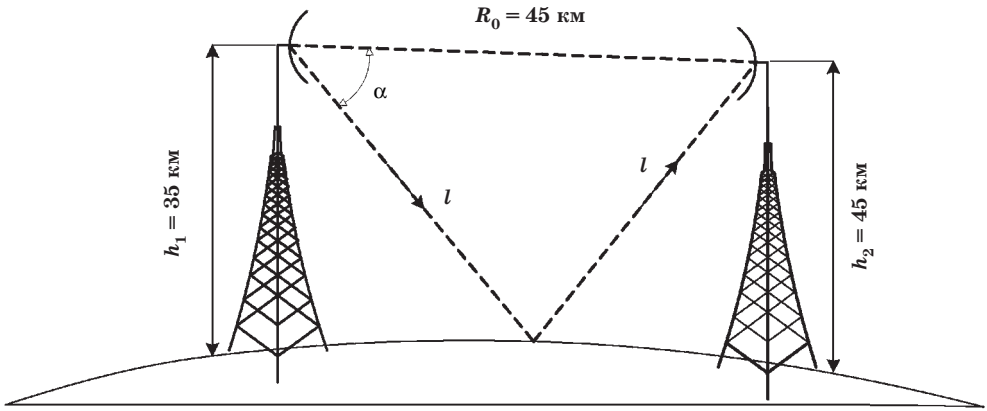


Рис. 1. Схема радіорелейної лінії зв'язку

Амплітуда відбитого від поверхні Землі променя подається у вигляді

$$\psi U_c \sin(\varpi_c + \varphi),$$

де $\psi \leq 1$ — коефіцієнт відбиття; φ — набіг фази за рахунок різниці ходу променів Δr з додаванням π .

Із векторної діаграми (рис. 2) амплітуда різниці прямого та відбитого променів визначається так:

$$U = \sqrt{(\psi U_c \sin \varphi)^2 + (U_c - \psi U_c \cos \varphi)^2} = \sqrt{U_c^2 + \psi^2 U_c^2 - 2 \psi U_c^2 \cos \varphi} = U_c \sqrt{1 + \psi^2 - 2 \psi \cos \varphi}.$$

Амплітуда різницевого сигналу відносно сигналу прямого променя набирає вигляду

$$\frac{U}{U_c} = \sqrt{1 + \psi^2 - 2 \psi \cos \varphi}.$$

Значення ψ задано і дорівнює 1,0. Необхідно обчислити φ і $\cos \varphi$.

Із рис. 1 випливає, що різниця ходу променів

$$\Delta r = 2l - R_0.$$

У свою чергу,

$$l = \frac{R_0}{2 \cos \alpha} = \frac{R_0}{2} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha},$$

де $\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{R_0} \leq 1$.

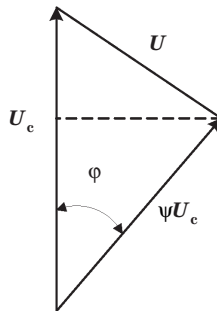


Рис. 2. Векторна діаграма різниці (за рахунок кута π при відбитті від Землі) прямого та відбитого променів

Тоді дістаємо:

$$\Delta r = R_0 \sqrt{1 + tg^2 \alpha} - R_0 = R_0 \left(\sqrt{1 + tg^2 \alpha} - 1 \right) = R_0 \left(1 + \frac{tg^2 \alpha}{2} - 1 \right) = \frac{2h^2}{R_0},$$

якщо $h_1 = h_2 = h$.

Для випадку $h_1 \neq h_2$ маємо

$$\Delta r = \frac{2h_1 h_2}{R_0} = \frac{2 \cdot 35 \cdot 45}{45 \cdot 10^3} = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см.}$$

Як відомо, різниця ходу променів, що дорівнює довжині хвилі, дає набіг фази, який дорівнює 2π . Тоді різниця ходу променів Δr створює набіг фази

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r.$$

Після нескладних обчислень дістаємо сумарну напруженість поля з урахуванням інтерференції:

$$E = E_c \sqrt{1 + \psi^2 - 2\psi \cos \varphi} = 6 \cdot \sqrt{2 - 2 \cos \varphi} = 6 \cdot \sqrt{2(1 - 0,997)} = 6 \cdot \sqrt{0,006} = 6 \cdot 0,078 = 0,46 \text{ (мкВ/м)}.$$

Втрати в енергетиці з урахуванням шкідливої дії відбитого променя становлять

$$V = 20 \lg \frac{E_c}{E} = 20 \lg \frac{6}{0,46} = 20 \lg 13,04 = 22,3 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. Сумарна напруженість поля дорівнює 0,46 мкВ/м, а втрати в енергетиці досягають 22,3 дБ.

Задача 10. Визначити значення множника послаблення (з урахуванням інтерференції) при ідеальній відбивальній поверхні ($\Phi = 1$), різниці ходу променів $\Delta r = 12,5$ см і $F = 6$ ГГц.

Розв'язання. Беручи до уваги, що сумарний зсув фаз γ визначається за формулою

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta r + \beta,$$

і прийнявши $\beta = \pi$ (для ідеальної відбивальної поверхні), дістаємо:

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta r + \pi = 6\pi.$$

Тобто фази прямої та відбитої хвиль збігаються.

Далі, скориставшись формулою

$$V = \sqrt{1 + \psi^2 + 2\psi \cos \gamma},$$

виконуємо відповідні обчислення

$$V = \sqrt{1 + 2 \cos 6\pi} = 2.$$

Збільшення напруженості поля вдвічі в результаті інтерференції в точці прийому досягається за рахунок збігу фаз прямої і відбитої хвиль для заданої частоти.

Обчислюємо значення множника в децибелах

$$V = 20 \lg 2 = 6.$$

В і д п о в і д ь. Значення множника становить 6 дБ.

Задача 11. Визначити відмінність між значеннями множника послаблення g для траси РРЛ на носійній та бічних частотах з однією перешкодою за таких умов: носійна частота $f = 4000$ МГц; смуга передаваних частот $\Delta f = 20$ МГц; модуль коефіцієнта відбиття для n -го мінімуму $\Phi_n = 0,99$ при цьому $n = 1$.

Розв'язання. Відомо, що амплітуда коливань носійної частоти f_0 з досягненням мінімуму послаблюється в g раз порівняно з амплітудою коливань частот $f_0 \pm \Delta f$, де Δf — смуга частот перестроюваних сигналів.

При цьому

$$g = \frac{V(f_0 \pm \Delta f)}{V(f_0)}.$$

Тут

$$V(f_0) = 1 - \psi_n;$$

$$V(f_0 \pm \Delta f) = \sqrt{1 + \psi^2 - 2 \psi_n \cos \Delta \gamma}$$

($\Delta \gamma$ — зсув фаз між прямою та відбитою хвилями через різницю ходу Δr і різницю частот Δf , $\gamma = \frac{2\pi}{c} \cdot \Delta f \Delta r$, де c — швидкість світла у вакуумі).

Наближено маємо:

$$g = \sqrt{1 + 4\pi^2 \psi_n^2 \left(\frac{\Delta f}{f_0}\right)^2 \cdot n^2 / (1 - \psi_n)^2},$$

де $n = \frac{\Delta r}{\lambda} = 1$ (за умовами задачі).

Виконуючи відповідні обчислення, знаходимо:

$$g = \sqrt{1 + 4\pi^2 (0,99)^2 \cdot (0,005)^2 / (1 - 0,99)^2} = 1,86.$$

Це значення відповідає 2,7 дБ.

В і д п о в і д ь. Відмінність між значеннями множника послаблення для несійної та бічних частот для першого інтерференційного мінімуму становить 2,7 дБ.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Подайте виведення основного рівняння для енергетичного розрахунку радіоліній.

2. Поясніть труднощі визначення загасання енергії радіохвиль у середовищі поширення. Чим вони зумовлені?

3. Обґрунтуйте доцільність використання статистичної та детермінованої моделей ПРХ.

4. Наведіть характеристику кожного із можливих механізмів ПРХ.

5. Проаналізуйте механізми та моделі ПРХ у діапазоні ДНЧ.

6. Проаналізуйте механізми та моделі ПРХ у діапазоні НЧ.

7. Проаналізуйте механізми та моделі ПРХ у діапазоні СЧ.

8. Проаналізуйте механізми та моделі ПРХ у діапазоні ВЧ.

9. Проаналізуйте механізми та моделі ПРХ у діапазоні ДВЧ.

10. Чим зумовлено велику кількість моделей ПРХ у діапазоні УВЧ? Поясніть сфери застосування для кожної з них.

11. Модель Хати.

12. Модель Ксея–Бертоні.

13. Модель Окамури.

14. Механізми ПРХ у діапазоні НВЧ.

15. Вірогідність та надійність радіозв'язку. Умови досягнення заданих параметрів.

16. Від чого залежить дальність радіозв'язку?

17. Основне рівняння для енергетичного розрахунку.

18. Що впливає на значення додаткових втрат енергії на трасі зв'язку W_{τ} ?

19. Профілі трас.

20. Механізми поширення радіохвиль.

21. Області або зони радіоліній.

22. Поясніть застосування захисного відношення як критерію ЕМС систем радіозв'язку.

23. Наведіть причини виникнення енергетичних втрат у системах радіозв'язку.

24. Як впливають енергетичні втрати на показники роботи системи радіозв'язку?

25. Дайте визначення та наведіть приклад ЕМО.

26. Дайте визначення та наведіть приклад ЕМС.

27. У чому полягають відмінності між поняттями ЕМО та ЕМС?

28. Наведіть приклади впливу завад на приймач аналогової системи радіозв'язку.

29. Наведіть приклади впливу завад на приймач цифрової системи радіозв'язку.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ. РАДІОЗАВАДИ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ ТА НОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

3.1. Актуальність проблеми

Частотний спектр, як і будь-який матеріальний природний ресурс, потребує дбайливого ставлення до себе. Це має виявлятися в якомога ефективнішому його використанні та охороні. Охорона спектра визначається заходами з його захисту від радіозавад або, образно кажучи, від забруднення радіотехнічними відходами, створюваними не лише радіоелектронними засобами, а й широким класом електротехнічних і електронних засобів, призначення яких не пов'язане з використанням радіочастотного ресурсу (РЧР) для телекомунікаційних цілей.

Завада — вплив на приймання в системі радіозв'язку небажаної енергії, викликаний одним чи кількома випромінюваннями (радіаціями або індукціями), що виявляється в будь-якому погіршенні якості, помилках чи втратах інформації, яких можна було б уникнути за відсутності такої небажаної енергії [25].

Завдання боротьби з ненавмисними електромагнітними завадами стало майже водночас із винаходом радіозв'язку, але спочатку його розв'язування не становило особливих труднощів. Вони з'явилися разом зі зростанням кількості радіозасобів, ускладненням їхніх функцій та створенням засобів нового призначення. Крім того, є багато причин, з яких використовуваній спектр повною мірою не задовольняє потреб радіослужб. Наприклад:

- чимало служб потребують надзвичайно широкосмугових сигналів;
- не всі радіохвилі поширюються однаково (на однакові відстані за інших однакових умов);
- рівень природних і промислових завад у різних діапазонах різний і т. ін.

З появою «тісняви» в розміщенні (на частотній осі) зростаючої кількості випромінювачів еволюція процесу використання частотного ресурсу розгорталася так.

На ранніх етапах основним завданням був розподіл радіочастот між регіонами, країнами та окремими різновидами радіослужб. А коли весь освоєний ресурс було розподілено, постала потреба в раціональніших методах користування радіочастотами (наприклад, створення систем зі стисненням спектра тощо).

Нині завдання більш раціонального використання РЧР перетворилось на завдання управління ним. Йдеться про комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на спільне використання ресурсу різними радіосистемами без взаємних завад. Як відповідний приклад можна згадати

спільне використання одних і тих самих смуг радіочастот у радіорелейних наземних та супутникових службах радіозв'язку. На практиці (див. основне рівняння для енергетичного розрахунку радіоліній) імперативний термін «без завад» щодо роботи засобів розуміють як «із припустимим рівнем завад».

Технічні заходи мають на меті послабити завади у джерелах їх виникнення (та в середовищі поширення) і забезпечити захист від їхнього впливу. Реалізація цих заходів супроводжується удосконаленням технічних параметрів (характеристик) радіообладнання. Якщо апаратуру вже створено й вона перебуває в експлуатації, то застосування технічних методів обмежене. Отже, технічні методи є сенс переважно застосовувати на стадії розробки апаратури: вони зводяться до поліпшення якісних показників (технічних характеристик) обладнання відповідно до вимог електромагнітної сумісності (ЕМС). Самі ж ці вимоги формуються у процесі експлуатації обладнання попереднього покоління, на основі нових засобів із поліпшеними характеристиками, а також — на основі результатів аналізу за допомогою системи моделей ЕМС.

Організаційні заходи полягають в узгодженні цільових функцій системи та управління параметрами сигналів за допомогою методів, які передбачають:

- розподіл (а іноді й перерозподіл) частот між радіослужбами;
- призначення радіочастот технічним засобам;
- установлення частотно-просторового рознесення технічних засобів;
- установлення правил експлуатації технічних засобів;
- нормування параметрів обладнання;
- інші заходи, до яких вдаються заради спільної (без завад) роботи технічних засобів і радіосистем та інтенсифікації використання частотного ресурсу.

Застосування пристроїв із незадовільними характеристиками може не тільки порушити роботу багатьох радіосистем (що завдасть економічних збитків), а й утруднити (і навіть унеможливити) користування частотним ресурсом із залученням нових засобів, що вводяться в експлуатацію. І, навпаки, застосування засобів із досконалішими технічними характеристиками дає змогу інтенсивніше використовувати наявний ресурс і забезпечувати спільну роботу більшої кількості радіозасобів без їхніх взаємних завад. Це означає більш ефективне використання капіталовкладень як у ті засоби, що лише вводяться в експлуатацію, так і в ті, що вже експлуатуються.

Витрати на вдосконалення технічних засобів (а також на управління використанням РЧР) можна порівняти з витратами на вдосконалення технології добування корисних копалин у важкодоступних родовищах.

Теорія управління використанням РЧР є результатом еволюційного розвитку теоретичних і практичних напрацювань з електромагнітної сумісності технічних засобів (ЕМС ТЗ).

Більшість радіосистем успішно функціонують лише в тому разі, коли відношення сигнал/завада (на вході приймача) перевищує 10...50 дБ. Радіостанції можуть створювати завади на відстанях, які набагато перевищують зону обслуговування. Навіть за найраціональнішого розміщення радіозасобів та незмінних умов поширення радіохвиль (ПРХ) кожний передавач створює завади прийманню іншого (на тій самій робочій частоті) на відстані, що в кілька разів перевищує радіус зони обслуговування.

Практично ніколи не можна розмістити територіально передавачі з огляду на самі лише геометричні міркування. Рівні сигналів і завад змінюються залежно від атмосферних умов (стану іоносфери для частот $f < 50$ МГц, тропосфери для $f > 50$ МГц, опадів тощо). Як було показано в попередньому розділі, ці зміни можуть бути доволі значними, мати спорадичний або періодичний характер, але їх майже неможливо визначити в деталях. Щоб урахувати добові та сезонні зміни умов поширення, іноді доводиться присвоювати радіостанціям кілька частот, які використовуються по чергово — залежно від часу доби, пори року та дальності зв'язку.

Від умов спільного функціонування радіоелектронних засобів (РЕЗ) залежить результативність застосування не лише тих, що вже експлуатуються, а й новорозроблюваних електро- та радіопристроїв (систем, комплексів), які можна об'єднати загальним поняттям — «технічні засоби».

Технічні засоби — електро- й радіотехнічні та електронні вироби, обладнання й апаратура виробничо-технічного, господарського та культурно-побутового призначення.

РЕЗ — технічний засіб, призначений для передавання і/або приймання радіосигналів радіослужбами.

Радіосистема — система, що складається з радіоелектронних засобів і призначена для певних цілей.

ЕМС — здатність РЕЗ одночасно функціонувати з необхідною якістю за реальних умов експлуатації в разі впливу на них непередбачуваних завад, не створюючи при цьому неприпустимих радіозавад іншим РЕЗ.

Електромагнітна обстановка (ЕМО) — сукупність електромагнітних полів та коливань у заданій області простору, смузі частот та інтервалі часу.

Радіозавада — електромагнітна завада в діапазоні радіочастот.

Далі наведено перелік найістотніших причин загострення проблеми ЕМС.

1. Кількість діючих радіосистем безперервно зростає. Швидкість збільшення кількості випромінювальних засобів настільки велика, що при розробці засобів забезпечення ЕМС неможливо обмежуватися напівзаходами або вдосконаленням апаратури за її окремими характеристиками. Потрібно всебічно вивчати проблему, виявляючи й використовуючи по зможі всі резерви при забезпеченні ЕМС та управлінні використанням РЧР.

2. Тенденція до підвищення потужності випромінювальних засобів, що намітилася свого часу, сприяла зростанню дальності їхньої дії. Сам факт зростання дальності дії, проте, еквівалентний збільшенню кількості випромінювальних засобів, що діють у місці розташування приймачів. Окремі імпульсні передавачі мають потужності до десятків мегават, що може призвести до створення високих рівнів завад як на основній частоті, так і на її гармоніках.

3. Безперервно проводяться роботи зі збільшення чутливості радіоприймачів. Ця характеристика еквівалентна збільшенню кількості випромінювань, що створюють завади, і зростанню відносного рівня завад щодо корисного сигналу. Окремі типи сучасних приймачів здатні приймати сигнали з потужністю в місці приймання 10^{-22} Вт і меншою.

4. Із різних причин (зокрема, й історично) деякі ділянки частотного спектра «перевантажені».

5. Низка об'єктів потребує використання великої кількості радіозасобів, розміщених у обмеженому, а часто й дуже малому просторі (літаки, кораблі, вузли радіозв'язку тощо). Взаємний їхній вплив за таких умов стає особливо

сильним, оскільки взаємодія відбувається на малих відстанях, додатково породжуючи при цьому *інтермодуляційні завади*. Проблема тут полягає не стільки в усуненні таких завад, скільки у виявленні джерел їх виникнення.

6. Кількість діючих джерел завад особливо велика для засобів, установлених на літаках та штучних супутниках Землі. Так, сигнали передавача, установленого на космічному апараті, що перебуває на великій відстані від Землі, можуть прийматися приймачами майже на половині поверхні планети. Аналогічно радіоприймач, установлений на такому апараті, приймає сигнали від передавача земної кулі за умови радіовидимості.

7. Деякі випромінювання мають ширшу смугу спектра випромінюваних сигналів порівняно з достатньою для даної радіопередачі.

8. Використання випромінювальних засобів нерівномірне в часі. Тому забезпечення ЕМС у моменти найвищої інтенсивності роботи систем може призвести до додаткових ускладнень.

9. Мініатюризація апаратури призводить до різкого зменшення відстаней між струмовідними елементами. Створюється видима можливість практично необмежено ускладнювати функції апаратури за рахунок зростання кількості елементів у малому об'ємі конструкції. Це може спричинитися до загострення проблеми ЕМС деталей, блоків усередині апаратури, що, у свою чергу, утруднює реалізацію зовнішніх показників ЕМС.

3.2. Класифікація радіозавад та їхніх джерел

3.2.1. Класифікація радіозавад за типом джерел

Класифікацію радіозавад за походженням (джерелами) наведено на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Класифікація радіозавад за походженням (джерелами)

Джерела завад бувають *штучного* та *природного* походження. Штучні завади породжуються електромагнітними процесами в технічних засобах. Джерела штучного походження можуть бути організованими та ненавмисними.

Організовані (навмисні) радіозавади в теорії ЕМС РЕЗ та у процедурах управління використанням РЧР не розглядаються. Натомість вони є предметом вивчення в теорії завадозахисту.

Завадозахищеність — властивість РЕЗ, що полягає у здатності виконувати функціональне завдання із заданою якістю за умов впливу навмисних радіозавад.

У теорії та практиці ЕМС розглядаються лише **ненавмисні електромагнітні завади**. Їхня дія виявляється як порушення функціонування окремих вузлів (а іноді й пошкодження елементів, наприклад мікросхем), що тягне за собою спотворення прийманих сигналів.

Ненавмисна радіозавада — радіозавада, створювана джерелом штучного походження, не призначена для порушення функціонування РЕЗ.

Завадостійкість — здатність виробу функціонувати під впливом ненавмисних завад без функціональних порушень.

За видом рецептора ненавмисні завади поділяються на **міжсистемні, внутрішньосистемні та індустриальні**.

Рецептор радіозавади — технічний засіб, який реагує на радіозаваду.

Рецепторами радіозавад є радіо- та телеприймачі, записувальна та звуковідтворювальна апаратура, ЕОМ, засоби автоматики, медична діагностична апаратура та інші чутливі до електромагнітних полів пристрої.

Аналізуючи вплив радіозавад на будь-який рецептор, доцільно користуватися поняттям «сприйнятливість», під якою розуміється властивість рецептора реагувати на зовнішню щодо нього заваду. При цьому шлях проникнення завади до рецептора може бути будь-яким, не обов'язково лише через антену, а в радіоприймачі — не обов'язково разом із прийманим сигналом.

Зауважимо, що універсальне поняття «рецептор» об'єднує широкий клас будь-яких систем (від біологічних до радіоелектронних), які оборотно чи необоротно змінюють значення своїх параметрів під впливом сторонніх збурювань.

Примітка. Стосовно радіоприймача поняття «сприйнятливість» не збігається з відомим параметром «чутливість». Чутливість визначається за відсутності завад і не може характеризувати вплив зовнішніх завад на приймач. Тому часто застосовувані вирази про зниження чутливості приймача під впливом завад (наприклад, коли йдеться про блокування) з термінологічного погляду є некоректними. Те саме стосується й згаданого в цьому виданні англomовного терміна десенсібілізація.

Внутрішньосистемна радіозавада — ненавмисна радіозавада, що виникає між РЕЗ однієї радіосистеми.

Внутрішньосистемні завади можуть бути власними та зовнішніми. Власні завади створюються вузлами самої апаратури, а джерела зовнішніх завад перебувають поза нею.

Внутрішньосистемні завади формуються джерелами, що входять до даної системи зв'язку, наприклад створюються випромінюваннями радіопередатвальних засобів, гетеродинів радіоприймачів, генераторами рядкової розгортки телевізорів тощо.

До категорії внутрішньосистемних завад можна віднести й контактні завади. Найнебезпечнішими є випромінювання радіопередавальних засобів, які здебільшого погіршують якість зв'язку аж до повного його порушення.

Міжсистемні завади створюються джерелами, зовнішніми щодо даної системи.

Міжсистемна радіозавада — ненавмисна радіозавада, що виникає між РЕЗ різних радіосистем.

Основним постачальником електромагнітних полів у навколишнє середовище є радіовипромінювання систем, що їх цілеспрямовано використовують радіослужби. Внутрішньо- та міжсистемні радіозавади іноді називають взаємними.

Ці завади поширюються аналогічно корисним радіосигналам. Узагальнені дані про використання радіовипромінювань у різних діапазонах наведено в табл. 3.1, де вміщено також орієнтовні значення дальності дії між- і внутрішньосистемних завад, зумовлених різними механізмами ПРХ.

Індустріальні радіозавади (ІРЗ) створюються технічними засобами, що використовують у деякій формі енергію електричного струму. Це дуже широкий клас завад.

Індустріальна радіозавада — це радіозавада, що виникає під час роботи електричних, електронних та радіотехнічних засобів різного призначення. Виняток становлять випромінювання, створювані високочастотними трактами радіопередавачів.

ІРЗ можуть створюватися медичним, науковим і промисловим устаткуванням, побутовою апаратурою, лініями електропередавання (ЛЕП), генераторним та трансформаторним обладнанням, електрообладнанням усіх видів транспорту, РЕЗ, зокрема радіопередавачами та радіоприймачами.

За тривалістю дії ІРЗ поділяються на **безперервні** (від колекторних двигунів, випрямлячів, рухомого електроскладу, автомобілотранспорту, промислових об'єктів та установок різного призначення, ЛЕП тощо) і **рідкоїмпульсні** (від перемикачів у електричних колах приладів із програмним керуванням тощо).

Розглянемо, наприклад, такі орієнтовні спектри (рис. 3.2, *a–d*):

- а) частотний спектр високовольтної лінії передавання;
- б) спектр випромінювань зварювального апарата;
- в) спектр індустріальних завад усередині літака;
- г) спектр випромінювань автомобільного двигуна з електричним запалюванням;
- д) спектр завад люмінесцентної лампи потужністю 40 Вт.

Детальніше індустріальні завади буде розглянуто далі.

Проміжне положення займають **контактні завади**: залежно від ситуації їх можна умовно віднести до будь-якої з розглянутих груп. Докладніше про них ітиметься далі.

До **електромагнітних полів природного походження** належать:

- власні внутрішні шуми радіоапаратури (тепловий і дробовий шуми, шуми струморозподілу, поверхневого ефекту, вторинної емісії, генерування та рекомбінування носіїв заряду);
- шуми теплового випромінювання Землі;
- позаземні шуми (радіовипромінювання Сонця, Місяця, планет, космічне радіовипромінювання);

Узагальнені дані щодо використання радіовипромінювань у різних діапазонах

Діапазон	Частота	Вид поширення	Дальність	Ширина смуги	Дальність дії завад	Використання
ДНЧ	3...30 кГц	Хвилевідний	Кілька тисяч км	Дуже обмежена	Дуже велика	У світовому масштабі, радіонавігаційний та стратегічний зв'язок на великі відстані
НЧ	30...300 кГц	Земна хвиля, іоносферна хвиля	Кілька тисяч км	Дуже обмежена	Дуже велика	Радіонавігаційний та стратегічний зв'язок на великі відстані
СЧ	0,3...3 МГц	Земна хвиля, іоносферна хвиля	Кілька тисяч км	Середня	Дуже велика	Зв'язок пункту з пунктом на середні відстані, радіомовний і морський рухомий зв'язок
ВЧ	3...30 МГц	Іоносферна хвиля	До кількох тисяч км	Велика	Дуже велика	Зв'язок пункту з пунктом на великі та короткі відстані, глобальне радіомовлення, рухомий зв'язок
ДВЧ	30...300 МГц	Просторова хвиля, тропосферне розсіювання, дифракція	До кількох сотен км	Дуже велика	Обмежена	Зв'язок пункту з пунктом на короткі та середні відстані, рухомий зв'язок, локальні мережі, звукове та телевізійне радіомовлення, персональний зв'язок
УВЧ	0,3...3 ГГц	Просторова хвиля, тропосферне розсіювання, дифракція, у межах прямої видимості	Менше за 100 км	Дуже велика	Обмежена	Зв'язок пункту з пунктом на короткі та середні відстані, рухомий зв'язок, локальні мережі, звукове та телевізійне радіомовлення, персональний зв'язок, супутниковий зв'язок
НВЧ	3...30 ГГц	У межах прямої видимості	30 км; кілька тисяч км	Дуже велика, до 1 ГГц	Завичай обмежена	Зв'язок пункту з пунктом на короткі відстані, звукове та телевізійне радіомовлення, локальні мережі, рухомий/персональний зв'язок, супутниковий зв'язок
КВЧ	20...300 ГГц	У межах прямої видимості	20 км; кілька тисяч км	Дуже велика, до 10 ГГц	Завичай обмежена	Зв'язок пункту з пунктом на короткі відстані, мікросіткові мережі, локальні мережі та персональний зв'язок, супутниковий зв'язок

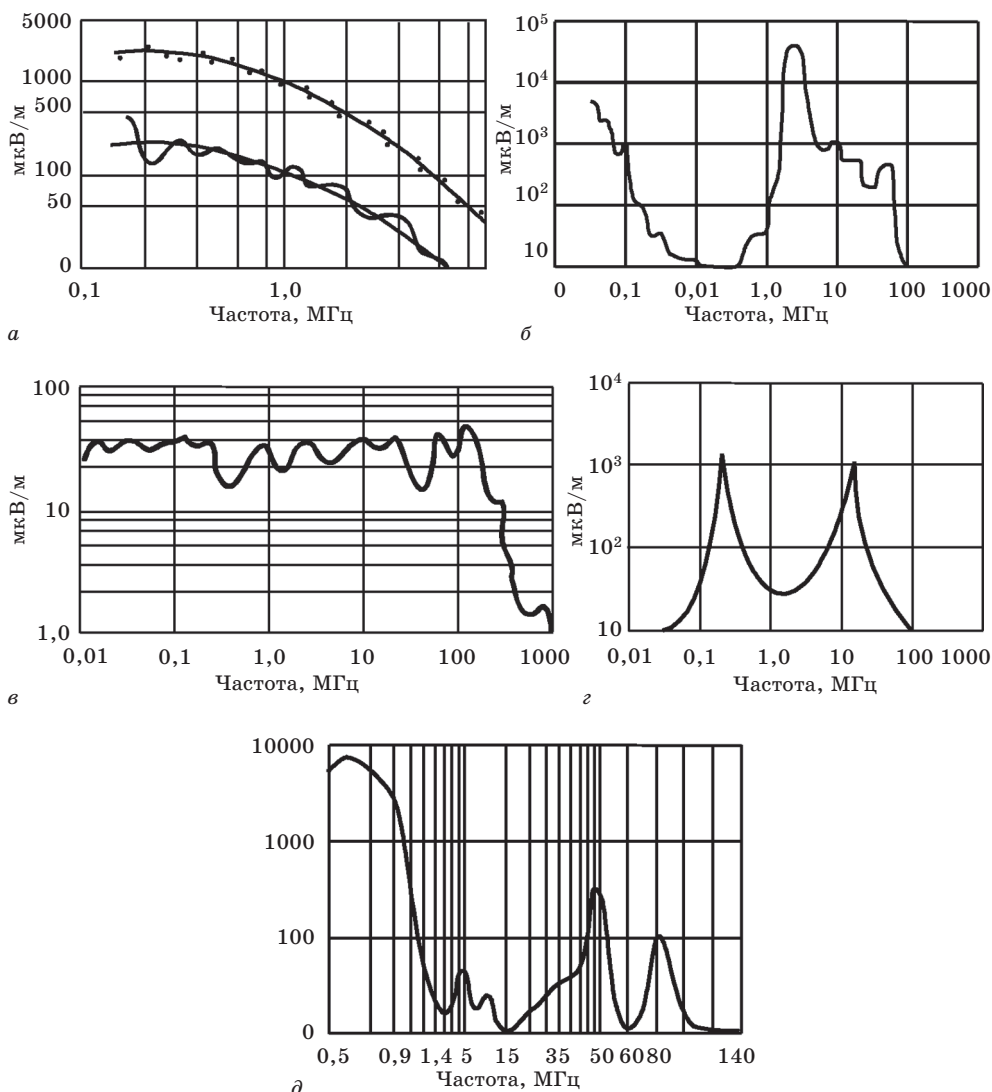


Рис. 3.2. Орієнтовні спектри (спектральна щільність) випромінювань різних джерел індустриальних завод

- атмосферні завади (грозові розряди, випромінювання атмосфери); до атмосферних завод умовно відносять специфічні завади від електростатичних розрядів;

- завади процесу поширення радіохвиль.

Природа теплових шумів загальновідома.

Космічні шуми зумовлені термоядерними процесами в радіозірках, рухом заряджених елементарних частинок у космічному просторі, поглинанням та перевипромінюванням атмосферою і поверхнею Землі випромінювання Сонця та інших космічних джерел. Такі шуми належать до адитивних широкопосмугових завод.

Атмосферні завади виникають унаслідок грозових розрядів, що відбуваються на частотах до 25 МГц і за рівнем перевищують космічні шуми. Для поодиноких близьких грозових розрядів у спектрі завод переважає

імпульсний компонент, а суперпозиція багатьох далеких розрядів формує флуктуаційний компонент.

Атмосферні завади (грозові розряди) мають тимчасову структуру у вигляді коротких імпульсів великого розмаху на тлі частих імпульсів малої абсолютної величини (із динамічним діапазоном «амплітуд» близько 50...100 дБ) і характеризується помітним пакетуванням. Завади поширюються електромагнітним полем (просторовою хвилею).

Цей вид завад виявляється переважно в діапазоні частот 0,01...10 МГц (на значній відстані від промислових об'єктів) та 0,01...1 МГц (у промислових районах).

Електростатичні завади (завади, викликані електризацією) утворюються струмами стікання з ділянок поверхні об'єктів, що швидко рухаються, електризуючись потоком водяних і пилових частинок, а також пробоем повітряних проміжків між металізованими елементами конструкції об'єкта. Вони можуть бути помітними на частотах до 1 ГГц.

Так, корпус літака (гелікоптера) електризується внаслідок його стикання із зарядженими частинками повітря або за рахунок індукції під час польоту поблизу заряджених хмар.

Густина зарядів більша в місцях різких вигинів конструкції — біля кінців крил (лопатеї гвинтів) вона в 5–8 раз перевищує густину зарядів на середній частині фюзеляжу. Занадто високий рівень електризації може призвести до коронного розряду з широким спектром завад.

Явище електризації з аналогічними наслідками виникає й у наземних рухомих об'єктів. За вітряної погоди, переміщуючись по запилених дорогах, корпуси об'єктів і встановлені на них антени РЕЗ від тертя із зарядженими частинками, що пролітають повз них, набувають електростатичних зарядів змінної абсолютної величини, яка залежить, зокрема, від швидкості руху об'єкта. Вплив такої електризації може призвести до повного розладу радіозв'язку, хоча під час зупинки його якість могла бути чудовою.

Поля від згаданих груп джерел можуть виступати реальною причиною зниження якості приймання сигналів у радіосистемах.

3.2.2. Класифікація радіозавад за видами середовища поширення

За видами середовища поширення розрізняють завади випромінювання та кондуктивні завади.

Завади випромінювання поширюються у відкритому просторі, впливаючи зазвичай на приймальні антени (або на елементи, що відіграють роль таких антен).

Кондуктивні завади поширюються від джерела до рецептора по фізичних (штучних) колах живлення, керування, сигналізації, заземлення і т. ін.

3.2.3. Класифікація радіозавад за частотно-часовими властивостями

За частотно-часовими властивостями завади можуть бути зосереджені по спектру — *вузькосмуговими*, зосередженими в часі — *імпульсними* та *флуктуаційними*. Поняття вузькосмуговості та зосередженості завад у часі стосується відповідно величини $\Delta F_{\text{пр}}$ і $1/\Delta F_{\text{пр}}$, де $\Delta F_{\text{пр}}$ — смуга пропускання радіоприймача.

3.2.4. Класифікація радіозавад за характером взаємодії з корисним сигналом

За характером взаємодії з корисним (прийнятим) сигналом розрізняють адитивні та мультиплікативні завади. У першому випадку завади підсумовуються із сигналом, а у другому — виступають у ролі «випадкового співмножника», коефіцієнта передавання середовища ПРХ.

Типовим представником мультиплікативних завад є завади процесу поширення радіохвиль (наприклад, коефіцієнта передавання середовища за рахунок багатознаковості ПРХ), зумовлені відбиттям, розсіюванням, поглинанням енергії хвиль, обертанням площини поляризації, ефектом Доплера. До них, зокрема, належать завади, що викликають загасання прийнятих сигналів.

Заходи, спрямовані на послаблення впливу таких завад, доволі специфічні та не становлять предмета теорії ЕМС РЕЗ (хоча в багатьох радіосистемах, наприклад у радіорелейних, тропосферних, супутникових і наземних мобільних, при визначенні якості приймання радіосигналів зважати на цей вплив усе ж доводиться). Специфічні заходи боротьби з такими завадами розглядаються при вивченні відповідних радіосистем.

Деякі найзагальніші властивості радіозавад наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Загальні властивості радіозавад

Вид радіозавад	Фізична характеристика
За характером мікроструктури	
Імпульсні	$v = 2f_{\text{імп}}/\Delta F_{\text{еф}} < 1$ $1 < v < 10^4$ $v > 10^4$
Квазіімпульсні	
Флуктуаційні	
Гармонічні	
За характером завадної дії на сигнал	
Адитивні	$S(t) + \Pi(t)$
Мультиплікативні	$S(t) \Pi(t)$
Комбіновані	$S(t)\Pi_1(t) + \Pi_2(t)$
За характером енергетичного спектра	
Зосереджені	Типу дельта-функції
Вузькосмугові	Ширина смуги набагато менша за середню
Широкосмугові	Ширина смуги набагато більша за середню
За походженням	
Розряди блискавки	Імпульсна широкосмугова адитивна
Стікання електростатичних зарядів, частинок пилу тощо	Флуктуаційна широкосмугова адитивна
Космічні шуми	Те саме
Іоносферні збурення	Флуктуаційна мультиплікативна
Шуми приймача	Флуктуаційна широкосмугова
Індустріальні	Квазіімпульсні широкосмугові
Взаємні	Зосереджені, комбіновані
<p><i>Примітка.</i> $f_{\text{імп}}$ — частота проходження імпульсів; $\Delta F_{\text{еф}}$ — ефективна смуга пропускання каналу; $S(t)$ і $\Pi(t)$ — відповідно сигнал і завада.</p>	

3.2.5. Індустріальні радіозавади

Як уже зазначалося, ІРЗ створюються електрообладнанням і приладами, комп'ютерами й телевізорами, електротранспортом і автомобілями, ЛЕП та іншими технічними засобами. Під час роботи електропристроїв радіозавади виникають унаслідок різких змін струму й напруги в електричних колах, що часто супроводжуються іскрінням, наприклад при розриві контактів або при ковзанні щіток електричних машин по колектору. Зрештою виникає неперервний спектр радіозавад, що охоплює всю смугу частот, використовувану для радіозв'язку, радіомовлення та телебачення.

Джерела ІРЗ доволі щільно розміщуються у просторі, часто в безпосередній близькості від РЕЗ. Тому, не зважаючи на меншу потужність на радіочастотах порівняно з радіостанціями, ІРЗ значною мірою визначають ЕМО, а їх подолання є одним із основних завдань у забезпеченні нормальних умов роботи РЕЗ. Отже, процедура керування використанням РЧС передбачає заходи з регулювання ІРЗ.

На відміну від природних радіозавад, для ІРЗ існують можливості регулювання їх не лише в рецепторах, тобто апаратурі, що зазнає впливу ІРЗ, а й у місцях їх виникнення (на джерелі завад). Рівні ІРЗ на джерелі обмежуються до припустимих значень. Вимоги до припустимих рівнів регламентовано нормативними документами. Загалом вітчизняна нормативна база складається з десятків нормативних документів.

Пристрої — джерела ІРЗ підлягають контролю якості за параметрами ЕМС при сертифікації та випуску, і ті з них, які не відповідають вимогам нормативних документів, не отримують схвалення.

Для обмеження ІРЗ на джерелі використовують різні засоби завадоподавлення: іскрогасники, відбивальні і поглинальні фільтри й екрани, дроселі, симетрувальні пристрої, заземлення тощо [1–4]. На основі методів фільтрації та екранування розробляють конструкції, що мінімізують рівні завад.

Завдання забезпечення ЕМС РЕЗ і джерел ІРЗ розв'язують під час проектування та пусконаладження приймально-передавальних центрів телерадіомовлення та практично всіх видів радіозв'язку. Проблема забезпечення ЕМС наукової апаратури та службових систем на борту космічних апаратів розв'язується на всіх стадіях розробки космічного проекту. Питання боротьби із ІРЗ актуальні для локальних об'єктів військового та цивільного призначення в авіації, морському та річковому флоті, для транспортних засобів усіх видів і призначень.

Із плином часу проблема ІРЗ не втрачає своєї актуальності. Технічний прогрес постійно збільшує як кількість пристроїв — джерел завад, так і кількість засобів-рецепторів. Тому й нині фахівці всіх країн світу активно працюють у цій сфері.

Дослідження ІРЗ та боротьбу з ними було розпочато в 1920-х роках. У 1933 році в Парижі було проведено конференцію, учасники якої постановили, що розробка уніфікованих норм і методів вимірювань ІРЗ є нагальною міжнародною проблемою, оскільки йдеться про запобігання труднощам під час обміну товарами й послугами. Підсумком цієї зустрічі стало створення Міжнародного спеціального комітету з радіозавад (Comite International Special des Perturbations Radioelectriques, CISPR/CICIP), що увійшов до складу Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК).

Нині 35 держав, зокрема й Україна, є членами СІСПР; їхні представники працюють за програмами шести технічних підкомітетів (ПК):

- ПК А «Вимірювання радіозавод та статистичні методи»;
- ПК В «Заводи, що стосуються промислових, наукових і медичних радіочастотних установок, інших (великих) промислових установок, повітряних ліній електропередавання, високовольтного обладнання та систем із електротягою»;
- ПК D «Електромагнітні заводи, що стосуються електричного/електронного обладнання автомобілів та пристроїв, які містять двигуни внутрішнього згоряння»;
- ПК F «Заводи, що стосуються побутових приладів, інструментів, освітлювального обладнання та аналогічних установок»;
- ПК H «Норми для захисту радіослужб»;
- ПК I «Електромагнітна сумісність обладнання інформаційних технологій, устаткування мультимедіа та приймачів».

Стандарти, розроблені в рамках СІСПР, мають рекомендаційний характер і слугують основою для розробки регіональних і національних нормативних документів. Сьогодні СІСПР пропонує 38 публікацій і технічних звітів, що містять у собі норми, методи вимірювань, технічні вимоги до засобів вимірювань тощо.

В Європі нормативні документи розробляють дві загальноєвропейські організації зі стандартизації: Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці (CENELEC) та Європейський інститут стандартизації в галузі телекомунікацій (ETSI).

На міжнародному, регіональному й національному рівнях проводяться роботи з гармонізації нормативних документів у сфері ЕМС і, зокрема, ІРЗ. Країни — члени міжнародних організацій вживають заходів зі зменшення відмінностей у галузях метрології, стандартизації та сертифікації за рахунок використання в них документів, узгоджених на міжнародному рівні.

3.2.5.1. Рецептори індустриальних радіозавод

Радіозасоби всіх видів і призначень становлять найважливіший клас рецепторів завод. ІРЗ завдають заводного впливу на приймання сигналів телерадіомовлення та радіозв'язку. При прийманні РМ програм заводи виявляються у вигляді клацань і потріскувань. При прийманні телевізійних (ТВ) програм ознаками заводного впливу ІРЗ є миготіння, порушення синхронізації, «снігопад» на екрані, спотворення кольору й зображення, а іноді й повне зникнення зображення. Різні види радіозв'язку зазнають впливу ІРЗ — від незначного зниження якості до зриву зв'язку.

Початок боротьби з ІРЗ, що припав на 1930-ті роки, розгортався під гаслом захисту від завод служб радіозв'язку й радіомовлення. Як історичну довідку в табл. 3.3 наведено види радіозв'язку середини ХХ сторіччя та відношення корисного сигналу до заводи, що відповідають ледь задовільному та нормальному радіоприйманню, (матеріал запозичено з публікації 1951 року).

Пізніше, під кінець 1950-х років, до служб, що потребують захисту від ІРЗ, додалося телебачення. Сьогодні до переліку радіослужб — рецепторів ІРЗ входить багато видів фіксованого та рухомого радіозв'язку (стілниковий, транкінговий, абонентський радіодоступ, супутниковий зв'язок, телевізійне та ЧМ мовлення і т. ін.) У ПК H СІСПР 2003 року відкрито новий

Відношення корисного сигналу до завади, дБ, що характеризує ледь задовільне та доволі добре радіоприймання

Рід роботи	Якість радіоприймання	
	Ледь задовільна	Доволі добра
Незагасаюча телеграфія: — приймання на слух — приймання на записувальний апарат — приймання на літеродрукувальний пристрій	-5...+5 5...10 15...20	5...10 10...20 25...30
Приймання чорно-білих статичних зображень при смузі частот 3000 ГГц	5...10	10...20
Комерційна телефонія	10...15	25...35
Радіомовлення	15...20	30...100

напряв «База даних характеристик радіослужб» [6], що має на меті збирання технічної інформації, необхідної для оцінювання завадної дії ІРЗ різним службам радіозв'язку.

Окремий клас рецепторів ІРЗ становить електронна апаратура всіх видів і призначень. Дедалі більшого значення набуває проблема сприйнятливості такого обладнання щодо ІРЗ, оскільки, по-перше, постійно розгортаються процеси поширення та взаємодії електронних виробів у всіх сферах повсякденного життя, а по-друге, сучасне обладнання з мікропроцесорами й пластмасовими корпусами має здебільшого нижчу стійкість до електромагнітних полів. Сприйнятливість до завад нині становить серйозну проблему електронних засобів багатьох видів, а надто тих, функціонування яких пов'язане з безпекою чи економікою.

Ось кілька зареєстрованих прикладів електромагнітної несумісності технічних засобів [7]:

- електромагнітний імпульс від п'єзоелектричного прикурювача цигарок спонукав до встановлення загороджувального бар'єра перед автостоянкою, завдяки чому водії отримали можливість для безкоштовного паркування;

- обладнання залізничної сигналізації та управління реагувало на опускання пантографів електровозів, що відбувалося поблизу від нього, появою сигналів «небезпека» та перемиканням світлофорів на червоне світло;

- у 1960-х роках на одній з атомних електростанцій під впливом ІРЗ кількаразово спрацьовувала захисна система «гасіння» атомного реактора;

- під час війни за Фолклендські острови радіолокатор через завади не виявив запуску ракети супротивника, яка призвела до потоплення корабля «Шеффілд».

В огляді Міжнародної авіаційної федерації повідомлялося про 97 подій, які призвели або могли призвести до трагічних результатів. Усі вони пов'язані із впливом на системи управління літаком завад від електронних пристроїв, якими люди зазвичай користуються під час польоту, — комп'ютерів, програвачів компакт-дисків, стільникових телефонів тощо.

Пристрої-рецептори двох описаних класів принципово різняться. З'ясуємо, у чому полягають відмінності між ними.

Радіоприймальний пристрій призначено для приймання сигналів через антенний вхід, на якому можуть водночас з'явитися корисний та завадний

сигнали. Цей шлях проникнення ІРЗ у приймач є основним. Додаткові шляхи проникнення являють собою проводи заземлення та кола живлення. Окрім того, якщо приймач погано екрановано, то завади можуть прийматися безпосередньо його контурами.

Що ж до електронного пристрою-рецептора, то він не призначений для приймання сигналів, а тому основним шляхом впливу ІРЗ на такий пристрій буде той, який для приймачів вважається додатковим. Коли передбачити, що на цьому шляху завади буде усунуто, то електронний пристрій стане несприйнятливим до ІРЗ, тоді як реагування радіоприймача на завади триватиме.

Саме тому й сьогодні, як у першій половині ХХ сторіччя, СІСПР декларує, що головним об'єктом його уваги та захисту лишаються засоби радіозв'язку [8].

3.2.5.2. Класифікація індустриальних радіозавод

Індустриальні радіозаводи поділяються на багато груп, класів і підкласів залежно від середовища поширення, спектрального складу, механізму утворення та впливу на рецептор.

За функціональним призначенням пристрої — джерела ІРЗ поділяються на такі основні групи:

- побутові прилади та пристрої;
- електричне освітлювальне обладнання;
- автомобілі та пристрої із двигунами внутрішнього згорання;
- промислові, наукові, медичні та побутові високочастотні пристрої;
- високовольні повітряні ЛЕП та електричні підстанції;
- системи з електротягою;
- приймачі звукового й телевізійного мовлення та інша побутова радіоелектронна апаратура (ПРЕА);
- обладнання інформаційних технологій (ОІТ).

До *побутових електроприладів та електропристроїв* належать електричні інструменти, регулювальні пристрої на напівпровідникових приладах, електричні медичні прилади з приводом від електродвигунів, електричні та електронні іграшки; кіно- та діапроектори, холодильники, пральні машини, електробритви і т. ін. Зазначені пристрої призначено для використання в житлових будинках або для підімкнення до електричних мереж житлових будинків. Завадоутворювальними елементами побутових приладів і пристроїв є колекторні електродвигуни, комутувальні та перемикальні системи, випрямні схеми тощо. ІРЗ від побутових приладів і пристроїв можуть завдавати завадної дії радіоприйманню у смузі частот 0,15...1000 МГц.

Електричне освітлювальне обладнання широко використовують у житлових будинках, виробничих приміщеннях, на вулицях і т. ін. До цієї групи джерел ІРЗ належать світильники із лампами розжарювання та люмінесцентними лампами, обладнання ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання тощо. У світильниках із люмінесцентними лампами завадоутворювальними елементами є власне люмінесцентні лампи та схеми для їх засвічування. Причиною виникнення ІРЗ у лампі є несталість електричних характеристик при газовому розряді та їх значне рознесення в партії однотипних виробів. Індустриальні завади від електричного освітлювального обладнання виявляються на частотах 0,15...600 МГц.

Автомобілі та пристрої із двигунами внутрішнього згорання є одним із найпоширеніших джерел ІРЗ. Найбільш відчутний внесок у ЕМО автомобілі роблять у містах та на транспортних магістралях. Основним завадоутворювальним елементом в автомобілях і пристроях із двигунами внутрішнього згорання є система запалювання. Індустріальні завади від системи запалювання являють собою потік пачок імпульсів тривалістю від наносекунд до мілісекунд. Окрім систем запалювання джерелами ІРЗ слугують бортові комп'ютери, електронне та електричне устаткування автомобіля. Для оцінювання ЕМС автотранспорту та РЕЗ, розміщених поза автомобілем, зокрема й РЕЗ систем рухомого зв'язку, розглядаються сумарні ІРЗ від потоку автомобілів. У цьому разі параметри ЕМС залежать також і від автомобільного трафіку. Індустріальні завади від автомобілів можуть завдавати завадної дії радіоприйманню на частотах від 0,15 МГц до 4 ГГц.

Промислові, наукові та медичні (ПНМ) пристрої становлять окрему, з погляду керування використанням РЧС, групу джерел ІРЗ. Основним завадоутворювальним елементом ПНМ пристроїв є генератор, частоту випромінювання якого задано. Частоти основного випромінювання ПНМ пристроїв визначено МСЕ на первинній основі. У Росії частоти випромінювання ПНМ пристроїв визначено на вторинній основі, але кількість виділених частот більша. ІРЗ у ПНМ пристроях утворюються на частоті основного випромінювання та частотах гармонічних складових. Окрім того, джерелами ІРЗ є кола живлення, контролю та управління. До ПНМ пристроїв належить промислове обладнання для індукційного, діелектричного та НВЧ нагрівання, апарати для зварювання металу, труб, пластмас, генератори сигналів, аналізатори спектра, синхрофазотрони, установки для мікро- та короткохвильової терапії, інфрачервоні та НВЧ печі для приготування продуктів тощо. Радіозавади, створювані гармоніками ПНМ пристроїв, які працюють на виділеній частоті 2,45 ГГц, можуть завдавати завадного впливу на радіоприймання на частотах до 18...20 ГГц.

Високовольтні повітряні лінії електропередавання являють собою протяжне джерело завад. Завадоутворювальними елементами ЛЕП є коронні розряди на проводах і розряди на ізоляторах та арматурі. ІРЗ, утворені короною на проводах, переважають на частотах 20...30 МГц. ІРЗ, утворені розрядами на ізоляторах і арматурі лінії, даються взнаки на частотах до кількох гігагерц. Рівень ІРЗ значною мірою залежить від конструкції та напруги ЛЕП, а також від погодних умов. Під час дощу рівень ІРЗ, створюваних коронними розрядами на проводах, може зростати на 20 дБ порівняно з рівнем радіозавад за умов сухої погоди. Загальне електромагнітне поле ІРЗ від ЛЕП являє собою суму окремих полів від кожного джерела.

До систем із електротягою як комплексного джерела ІРЗ належать електрифіковані залізниці та міський електротранспорт. Завадоутворювальними елементами систем із електротягою є рухомий склад, контактна мережа, лінії енергопостачання, тягові підстанції, електродепо, пристрої сигналізації, централізації та блокування. Найвищий рівень ІРЗ від рухомого складу виникає у процесі струмозняття з контактного проводу. Цей рівень вкрай нестабільний і значною мірою залежний від умов струмозняття, що визначаються конструкцією струмоприймача, матеріалом контактних пластин пантографів і контактного проводу, системою підвішування та натягом проводів, силою контактного тиску, швидкістю руху, станом шляху.

У цьому разі ІРЗ можуть утворюватися у вигляді поодиноких імпульсів, пачок імпульсів та неперіодичних імпульсних послідовностей. ІРЗ від систем з електротягою можуть порушувати радіоприймання на частотах до 1...2 ГГц.

До групи *звукових і телевізійних приймачів та іншої ПРЧА* належать відеомагнітофони, магнітофони, підсилювачі тощо. Завадоутворювальними елементами ПРЧА є гетеродини, модулятори, джерела живлення і т. ін. Основною відмінністю звукових і ТВ приймачів від інших побутових пристроїв є те, що додатковим елементом, який випромінює ІРЗ, слугує антенний кабель. Індустріальні завади від звукових і телевізійних приймачів виявляються у смузі частот до кількох гігагерц.

До *обладнання інформаційних технологій* належать комп'ютери, факсимільні та телефонні апарати, касові термінали, пристрої для зчитування кодів тощо. Завадоутворювальними елементами тут є джерела живлення, особливо імпульсні, контактні пристрої, задавальні генератори і т. ін. Тактова частота задавальних генераторів комп'ютерів становить сотні мегагерц, а тому радіозавади від них займають смугу близько до 10 ГГц. У комп'ютерних мережах ІРЗ можуть поширюватися на значні відстані по мережних кабелях. Окрім того, кабельна мережа є випромінювачем ІРЗ.

За місцем розташування пристрої — джерела ІРЗ поділяються на такі основні групи:

- технічні засоби, застосовувані у промислових зонах;
- технічні засоби, застосовувані у житлових, комерційних зонах і виробничих зонах із малим енергоспоживанням;
- технічні засоби, застосовувані на підприємствах на виділених територіях;
- обладнання та апаратура, установлені разом зі службовими радіоприймальними пристроями.

До *груп електропристроїв, застосовуваних у промислових, житлових, комерційних і виробничих зонах із малим енергоспоживанням*, належить електрообладнання промислового, енергетичного, транспортного, медичного й комунального призначення, що працює від напруги, яка не перевищує 1000 В (наприклад, пристрої з електродвигунами, перетворювачами електричного струму, апарати та установки електрозварювання, електроінструмент, підіймачі і т. ін.).

Залежно від використовуваного на цих підприємствах обладнання ІРЗ можуть випромінюватися на частотах від сотень мегагерц до десятків гігагерц.

Група обладнання та апаратури, що встановлюються разом зі службовими радіоприймальними пристроями, поділяється на такі класи:

- 1) радіоелектронне та електронне обладнання;
- 2) електротехнічне, електромеханічне обладнання та джерела електричної енергії;
- 3) рухомі об'єкти (зокрема, засоби електроживлення із двигунами внутрішнього згорання).

За видами радіослужб, разом з якими встановлюють апаратуру (обладнання) 1-го та 2-го класів, зазначену апаратуру поділяють на підкласи, що включають у себе:

- апаратуру (обладнання) об'єктів зі станціями сухопутних фіксованих і рухомих служб;

- апаратуру (обладнання) об'єктів зі станціями повітряних і фіксованих служб, космічних і земних станцій;

- апаратуру (обладнання) об'єктів (рухомих і берегових) зі станціями морської рухомої служби.

Апаратуру 3-го класу поділяють на підкласи, що включають у себе:

- об'єкти для розміщення станцій сухопутних рухомих служб та автономні засоби електроживлення з двигунами внутрішнього згорання;

- об'єкти зі станціями повітряних рухомих служб.

До пристроїв останньої групи застосовуються спеціальні, найбільш жорсткі вимоги щодо припустимих рівнів ІРЗ.

За спектральним складом розрізняють широко- та вузькосмугові ІРЗ [9].

Термін «широкосмугове випромінювання» означає, що за рівнем 3 дБ смуга частот його енергетичного спектра ширша за деяку еталонну смугу, за яку взято смугу пропускання за рівнем 3 дБ вимірювального приймача.

Термін «вузькосмугове випромінювання» означає, що за рівнем 3 дБ ширина смуги частот його енергетичного спектра менша за смугу частот вимірювального приймача.

Вузькосмугові ІРЗ генеруються, наприклад, групою промислових, медичних і побутових високочастотних пристроїв. Широкосмугові ІРЗ створює більшість джерел ІРЗ: трамваї, тролейбуси, електропоїзди, тягові підстанції електротранспорту, автомобілі, високовольні лінії електропередавання та їхні підстанції, верстати з електроприводом, кранове обладнання, ліфти, комутувана електрореклама, люмінесцентні світильники, комутаційна апаратура всіх призначень, торговельні автомати, електроінструмент, автоматичні регулятори тощо.

Залежно від часу дії ІРЗ поділяються на тривалі та уривчасті (короткочасні). До тривалих ІРЗ належать завади, тривалість яких, виміряна за регламентованих умов, становить не менш як 1 с. До уривчастих ІРЗ належать завади, що тривають протягом певних періодів часу, розділених інтервалами, вільними від ІРЗ. Одним із видів уривчастих ІРЗ є короткочасні ІРЗ. До них належать ІРЗ, тривалість яких, виміряна за регламентованих умов, становить не більш як 0,2 с.

Тривалі ІРЗ можуть бути широкосмуговими (створюються перемикальними пристроями, ЛЕП, автомобілями, електротранспортом і т. ін.) та вузькосмуговими (створюються ПНМ високочастотними пристроями).

Уривчасті ІРЗ є широкосмуговими. Вони створюються холодильниками, прасками, термостатами тощо. Суб'єктивне сприйняття впливу уривчастих ІРЗ на приймання аудіо- та відеосигналів залежить від амплітуди та частоти повторення ІРЗ. Порівняно із тривалими завадами короткочасні завдають меншого впливу на якість радіоприймання.

Між різними частинами схеми електропристрою — джерела радіозавад існують напруги високої частоти та протікають високочастотні струми (високочастотні складові спектрив напруг і струмів). Із цими напругами й струмами пов'язане високочастотне електромагнітне поле, що поширюється від цього електропристрою в усіх напрямках. Досягаючи радіоприймальної установки, це поле впливає на неї та заважає прийманню корисного сигналу. Такий спосіб поширення індустриальних радіозавад називають безпосереднім випромінюванням. Термін «безпосереднє випромінювання» значною мірою умовний.

Вплив завад через безпосереднє випромінювання — випадок доволі рідкісний, що трапляється лише тоді, коли відстань між джерелом поля та об'єктом, який зазнає впливу, істотно більша від $\lambda/2\pi$, де λ — довжина хвилі. На цій відстані магнітний і електричний компоненти формуються в поширювану електромагнітну хвилю, і саме тут починається область постійного хвильового опору для плоскої електромагнітної хвилі (у вільному просторі в будь-якій точці відношення електричного та магнітного компонентів постійне і дорівнює 377 Ом). Якщо відстань від джерела до рецептора менша за $\lambda/2\pi$, то на специфічне явище випромінювання можна не зважати, пояснюючи вплив завад наявністю ємнісних та індуктивних зв'язків між джерелом радіозавад і рецептором. Раніше зазначалося, що більшість джерел ІРЗ створює випромінювання у смузі частот 150 кГц...1000 МГц; при цьому значення $\lambda/2\pi$ змінюється відповідно від 300 м до 5 см.

Із віддаленням від джерела радіозавад напруженість поля безпосереднього випромінювання швидко спадає. У вільному просторі це спадання відбувалося б за законом $1/r^3$ або $1/r^2$ при $r \ll \lambda/2\pi$ і за законом $1/r$ при $r \gg \lambda/2\pi$ (r — відстань від джерела). Наявність електричних та інших проводок, металевих конструкцій, заземлень чи інших об'єктів, що впливають на поширення радіосигналів і завад, ускладнює цей закон і пришвидшує загасання випромінювань. Утім радіозавади від таких потужних джерел, як високочастотні генератори промислового й медичного призначення, можуть поширюватися через безпосереднє випромінювання на десятки кілометрів. Проте потужність радіозавад, створюваних більшістю електропристроїв, не перевищує часток міліват. Тому поля безпосереднього випромінювання цих електропристроїв на відстанях, що перевищують кілька десятків метрів, настільки слабкі, що зазвичай ними можна знехтувати.

Основний шлях поширення ІРЗ від джерел — кондуктивний, по проводах. Схему поширення радіозавад по проводах наведено на рис. 3.3.

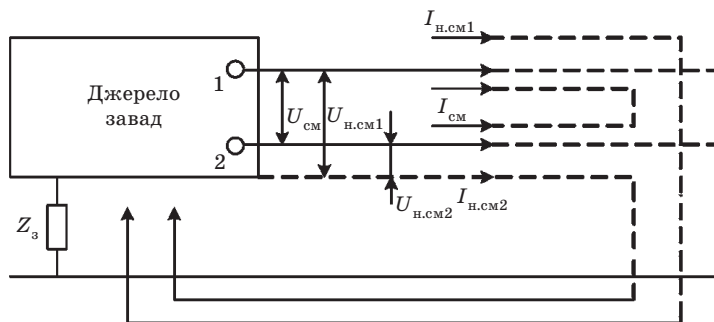


Рис. 3.3. Поширення завад по проводах

З погляду на поширення радіозавад по проводах електропристроїв — джерело завад слід розглядати як генератор високочастотних електромагнітних коливань, що живить ці проводи. (Утім за своїми основними функціями цей пристрій найчастіше відіграє роль не генератора, а споживача електроенергії).

Джерело ІРЗ розвиває між затискачами 1 і 2 напругу радіозавад, яку називають симетричною і позначають $U_{см}$. Окрім того, це джерело розвиває напруги радіозавад між кожним із затискачів і корпусом. Ці напруги називаються несиметричними — $U_{н.см1}$ і $U_{н.см2}$ (зادля спрощення вважаємо, що

електропристрій має металевий корпус; за відсутності його несиметричні напруги слід розглядати між кожним із затискачів і землею).

Із симетричною і несиметричною напругами радіозавод на затискачах електропристрою пов'язані симетричні і несиметричні напруги й струми завод в електромережі. Несиметричні струми замикаються через опір Z_3 , що з'єднує корпус електропристрою із землею. Якщо заземлення відсутнє, то роль Z_3 виконує опір ємності корпусу джерела відносно землі. У джерела з великою кількістю затискачів симетричні напруги радіозавод існують поміж будь-якими двома затискачами, а несиметричні напруги — між будь-яким із затискачів та корпусом. У загальному випадку всі ці напруги різні.

Із віддаленням від джерела напруги струми радіозавод у лінії загасають. Швидкість цього загасання залежить від хвильового опору проводів (кабелів), ступеня розгалуженості мережі та багатьох інших чинників, урахувати які практично неможливо. Із підвищенням частоти загасання посилюються. Однак за винятком діапазону НВЧ це загасання відбувається повільніше, ніж спадає напруженість поля безпосереднього випромінювання. При цьому радіозаводи навіть від малопотужних джерел можуть поширюватися по проводах більш як на сотні метрів.

Зауважимо, що радіозаводи можуть поширюватися не лише по проводах, які безпосередньо пов'язані з джерелом, а й можуть наводитися з цих проводів на проводи сторонніх електромереж і поширюватися далі по них. Такі сторонні електромережі називають вторинними носіями завод. Вторинними носіями завод можуть бути також різні протяжні металеві конструкції: труби водогону та центрального опалення, шахти ліфтів і т. ін. Специфічним вторинним носієм завод є корпус автомобіля, а технологічні отвори в ньому можуть «працювати» як щілинні антени.

Якщо єдиним способом поширення радіозавод є безпосереднє випромінювання, то достатньою характеристикою інтенсивності радіозавод від даного джерела є напруга поля цих завод на заданій відстані від джерела. А в тому разі, коли істотну роль відіграє поширення по проводах, інтенсивність радіозавод від даного джерела можна схарактеризувати як напругою поля завод на заданій відстані від джерела, так і найбільшою з несиметричних заводних напруг на його затискачах.

Розміщення джерел ІРЗ у просторі. На практиці розглядають точкове, лінійне, площинне та об'ємне розосередження джерел у просторі. Прикладом точкового розосередження може слугувати комп'ютер, що працює, тоді як ІРЗ від нього впливають на стільниковий телефон, розташований поруч із ним. Потік автомобілів на трасі або ЛЕП — це приклад лінійного розосередження джерел ІРЗ. Розміщення таких джерел на певній площі (наприклад, систем комутації, управління тощо на одному поверсі будівлі) являє собою площинне розосередження. Як об'ємне розосередження можна розглядати розміщення джерел ІРЗ у багатоповерховій будівлі.

Просторове розміщення джерел ІРЗ урахується при моделюванні сумарного процесу ІРЗ, зумовленого сукупністю джерел у певній точці простору, де розміщено радіоприймальний пристрій.

3.2.5.3. Нормування та параметри індустриальних радіозавод

Якщо рівень заводного сигналу, присутнього в тому самому каналі, що й корисний сигнал (КС), надто великий, то КС може бути знищений. Прий-

нятий рівень завади, присутньої в одному каналі з КС, визначається характером сигналу та завади. Наприклад, неперервна завада, що діє при передаванні високоякісного радіомовного сигналу, буде непринятною навіть за дуже низьких рівнів, натомість канал зв'язку, в якому передається компресований мовний сигнал, може функціонувати навіть за відносно високих рівнів імпульсних завад.

Цифрові системи зв'язку забезпечують більшу порівняно з аналоговими завадостійкість, але коли рівень завад досягає критичних значень, відбувається зрив зв'язку. При цьому вузько- та широкопasmові завади завдають різного завадного впливу на корисний сигнал.

Суб'єктивні випробування показали, що для отримання еквівалентної суб'єктивної оцінки амплітуда вузькопasmової завади має бути істотно нижчою, ніж широкопasmової.

Для забезпечення заданої якості радіоприймання з надійністю α виходять з умови [8], що реальне відношення сигнал/завада на вході приймача має бути не нижчим за припустиме відношення сигнал/завада в заданій (вираженій у відсотках) частці випадків:

$$\alpha = P\{E_c/E_z \geq A_0\}, \quad (3.1)$$

де $P\{*\}$ — імовірність події $\{*\}$; E_c — мінімальне гарантоване значення напруженості поля сигналу; E_z — напруженість поля завади; A_0 — мінімально припустиме (захисне) відношення сигнал/завада.

Отже, оперуючи такими трьома величинами, як E_c , E_z та A_0 , можна забезпечити задану якість радіоприймання із заданою надійністю.

Зростання E_c , тобто підвищення потужності радіопередавача, призводить до нераціонального використання радіочастотного спектра, що вкрай небажано.

Захисне відношення A_0 є однією з основних технічних характеристик апаратури зв'язку, що відбиває її завадостійкість. Методи досягнення високих значень завадостійкості, тобто низьких значень A_0 , пов'язані з конструюванням апаратури, що потребує чималих витрат.

Зменшення значення E_z — це питання, пов'язане з обмеженням рівнів ІРЗ на джерелі завад до припустимих значень, тобто це питання нормування ІРЗ.

Для розрахунку норм на випромінювання в разі ІРЗ, які потрапляють у смугу приймача (у канал настроювання), у СІСПР розроблено таку модель [8]:

- визначають захисне відношення для радіослужб у відведених смугах частот у разі різних видів завад. Дані щодо захисних відношень можна знайти в документах МСЕ та в технічних матеріалах розробників і виробників обладнання зв'язку. У ПК Н СІСПР 2003 року було поставлено завдання щодо збирання технічних даних, зокрема захисних відношень, необхідних для оцінювання завадної дії ІРЗ різним службам радіозв'язку;

- на базі захисного відношення в разі відомої мінімальної (номінальної) напруженості E_c поля корисного сигналу (напруженості поля, що підлягає захисту), обчислюють припустиму напруженість E_z поля завади на приймальній антені;

- визначають мінімальну робочу відстань між джерелом ІРЗ та приймальною антеною, а далі за допомогою розрахункового або емпіричного

коефіцієнта поширення обчислюють припустиму напруженість поля завад на певній вимірюваній відстані;

- на основі статистичних даних уводять деякі додаткові коефіцієнти, що враховують випадковий характер втрат при поширенні корисного сигналу та завади до точки приймання.

Остаточний результат цієї процедури — розрахункова норма, яка становить основу для робочої норми. Чому лише становить основу, а не є власне нормою?

По-перше, точність оцінювання норми залежить від надійності статистичних оцінок параметрів, які беруть участь у розрахунку. Поки що користуються доволі наближеними оцінками.

По-друге, застосування заходів завадоподавлення має розглядатися з позицій виробництва й, не в останню чергу, економіки. Саме тому розрахункова норма має слугувати корисною точкою відліку, а остаточне значення норми часто (насправді майже завжди) установлюється в результаті згоди між усіма зацікавленими сторонами після всебічного розгляду та відповідних переговорів.

Проблема розв'язується на основі компромісу — радіослужби припускають певний ступінь впливу завад на процес приймання радіосигналів, але завади, створювані різними джерелами, не повинні перевищувати робочої норми (яка припускає вищий рівень завад порівняно з розрахунковою нормою).

Невід'ємною частиною цього компромісу є економічний баланс. Менший рівень діючих завад дає змогу використовувати радіопередавачі меншої потужності. При цьому вартість реалізації подавлення завад, створюваних різними джерелами, буде вищою. Водночас застосування радіопередавачів великої потужності (із притаманним їм неефективним використанням радіочастотного спектра) забезпечить меншу вартість заходів із завадоподавлення). Цей економічний баланс було перевірено за минулі десятиріччя за результатами впровадження стандартів, які регламентували норми щодо рівнів ІРЗ.

Норми стосовно ІРЗ установлюють для пристроїв, що випускаються серійно. Партії виробів оцінюють на відповідність нормам, використовуючи при цьому статистичні процедури, ідея яких полягає в тому, що про генеральні характеристики оцінюваної партії виробів роблять висновки на підставі вибірових характеристик, які визначаються за результатами випробовувань зразків виробів із цієї партії. Норма, установлена на статистичній основі, передбачає, що з вірогідністю p у партії має бути не менш як q відсотків кондиційних виробів.

СІСПР рекомендує правило «80%–80%» ($p = q = 80\%$), згідно з яким принаймні 80% серійно виготовлених виробів мають відповідати нормам на ІРЗ із вірогідністю не менш як 80%. Це означає, що партія пристроїв приймається як кондиційна, коли навіть 20% їх створюють завади, рівень яких перевищує встановлене значення норми. Це правило в загальному випадку доволі адекватне для захисту не життєво важливих радіослужб, приміром таких, як мовлення та більшість служб мобільного наземного зв'язку.

Існує низка вибірових процедур, згідно з якими партія виробів оцінюється на відповідність нормам. У сфері ІРЗ приймальний контроль або сертифікація найчастіше здійснюється згідно з процедурою, що передбачає контроль

за лінійною комбінацією вибірових характеристик \bar{x}_n і s_n . Вважається, що партія виробів відповідає нормі, якщо виконується умова:

$$\bar{x}_n + kS_n \leq L. \quad (3.2)$$

Тут L — припустима норма на радіозавади; \bar{x}_n — середньоарифметичне значення рівнів завад від n виробів у вибірці; S_n — середньоквадратичне відхилення (СКВ) значень рівнів завад від n виробів у вибірці,

$$S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x}_n)^2,$$

де x_i — рівень завад від i -го виробу; k — коефіцієнт, що визначається з таблиць нецентрального i -розподілу. Значення k , залежне від обсягу вибірки n , наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Значення параметрів для оцінювання партії виробів

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	0,04	1,69	1,52	1,42	1,35	1,30	1,27	1,24	1,21	1,20

Значення x_i , \bar{x}_n , S_n та L виражено в логарифмічних одиницях дБмкВ/м, дБ/(мкВ: м) тощо.

Вимоги до вимірювача ІРЗ наведено в [12]. У загальному випадку це вимірювальний приймач зі спеціальними вхідними і вихідними пристроями. Вхідні пристрої слугують для приєднання приймача до джерела ІРЗ, вихідні — для реєстрації результатів вимірювань.

Перелік нормованих (вимірюваних) параметрів ІРЗ із зазначенням типів вхідних пристроїв, за допомогою яких виконуються вимірювання згідно з чинною нормативною документацією, наведено в табл. 3.5, де подано також смуги частот, в яких встановлено норми припустимих значень параметра ІРЗ.

Таблиця 3.5

Нормовані параметри ІРЗ

Параметр	Смуга частот	Тип вхідного пристрою
Напруга на мережних і додаткових затискачах	0,009...30 МГц	Випробувач напруги, еквівалент мережі
Потужність	30...1000 МГц	Поглиняльні лещата
Напруженість поля	30...300 МГц; 300...1000 МГц	Антени: — магнітні; — електричні
Потужність випромінювання	1...12,5 ГГц	НВЧ-антени
Сила струму	0,009...30 МГц	Струмознімач

Згідно з [12] вимірювач ІРЗ має вимірювати квазіпікове, пікове та середнє значення параметра ІРЗ. Рекомендовано також забезпечувати вимірювання середньоквадратичного значення.

Джерело широкосмугових завад створює на вході радіоприймального пристрою короткочасний імпульс або потік коротких імпульсів із випадковими моментами появи. На виході приймача завади являють собою реакцію (відгук) ВЧ тракту на ударне збудження його короткочасною поодинокую, відокремленою в часі ЕРС, що діє на вході приймача.

Форма відгуку однозначно визначається перехідною характеристикою вимірювального тракту. Відгук на поодинокий вхідний вплив називають вихідним імпульсом ВЧ тракту (радіоімпульсом), або елементарним збуренням. Сукупність відгуків утворює на виході вимірювального приймача процес ІРЗ,

що реєструється вихідним пристроєм. Згідно з [12] обов'язковими вихідними пристроями є квазіпіковий, піковий детектор, а також детектор середнього, які реєструють відповідні значення параметрів ІРЗ.

Квазіпікове значення є специфічною амплітудною характеристикою ІРЗ, що використовується здебільшого при оцінюванні широкосмугових ІРЗ. Існуючі нині методи оцінювання, нормування та контролю ІРЗ ґрунтуються, як правило, на квазіпікових значеннях.

Вихідні імпульси ВЧ тракту перетворюються на квазіпостійну напругу інерційним квазіпіковим детектором. Основними параметрами квазіпікового детектора є сталі часу заряджання і розряджання та імпульсна характеристика, що відбиває залежність коефіцієнта детектування від частоти проходження імпульсів.

Вимоги до вимірювачів ІРЗ стосовно параметрів квазіпікового детектора [12] наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Вимоги до вимірювачів ІРЗ — значення даних параметрів у трьох смугах частот, МГц

Параметр	0,009...0,15	0,15...30	30...1000
Номінальна ширина смуги пропускання на рівні 6 дБ, кГц	0,2	9	120
Стала часу заряджання, мс	45 + 9	1 ± 0,2	1 ± 0,2
Стала часу розряджання, мс	500 ± 100	160 + 32	550 ± ПО

Пікове значення є також амплітудною характеристикою ІРЗ, що використовується при оцінюванні широкосмугових ІРЗ на частотах понад 30 МГц. У даному разі під піковим розуміється значення, отримане при застосуванні квазіпікового детектора з меншою сталою часу заряджання та більшою сталою часу розряджання (порівняно із класичним квазіпіковим детектором).

Середнє значення — класична амплітудна характеристика, використувана у сфері ІРЗ для оцінювання вузькосмугових сигналів і завад.

Для оцінювання ІРЗ у ряді задач використовують й інші характеристики. Середньоквадратичне (середнє ефективне) значення є енергетичною характеристикою, що найчастіше застосовується при оцінюванні гауссових шумів. Ця характеристика визначається аналітично через інтеграл за часом від квадратів миттєвих значень процесу, віднесений до розглядуваного проміжку часу. Існують також вимірювальні прилади з усереднювальними квадратичними детекторами.

Вимірювання зазначених усереднених характеристик ІРЗ від окремих джерел за стандартних умов дає доволі стійкий у часі результат. Проте існують задачі, для розв'язування яких усереднені характеристики не придатні. Одна з них — вимірювання сумарних процесів завад, створюваних розосередженими у просторі джерелами, які діють у різні проміжки часу. У такому разі сумарний процес ІРЗ на вході приймального пристрою являє собою суперпозицію незалежних потоків імпульсів від окремих джерел. ІРЗ на виході лінійного тракту приймача являють собою результат накладання в часі «відгуків» ВЧ тракту на вхідні впливи.

Сумарні процеси ІРЗ у смугах пропускання приймальних пристроїв понад 9 кГц мають імпульсний характер [24] і являють собою імпульсні послідовності з випадковими амплітудами та моментами виникнення

імпульсів. З огляду на це доводиться оцінювати сумарні процеси впливу завад методами, що враховують їхню стохастичну структуру, і використовувати так звані потокові характеристики.

Найзагальніша з них і така, що описує амплітудно-часову структуру сумарних завад,— це розподіл кількості імпульсів, які перевищили за амплітудою фіксований рівень U_k і з'явилися у проміжку часу τ . Система функцій $P_n\{\tau, U_k\}$ (імовірність появи рівно n імпульсів у проміжку часу τ на рівні U_k) як неодмінний елемент входить до складу опису будь-яких завад за своєю структурою імпульсних потоків. Визначення системи функцій $P_n\{\tau, U_k\}$ за допомогою прямих вимірювань пов'язане з використанням амплітудно-часового аналізатора випадкових процесів як вихідного пристрою.

Об'єктивні оцінки спотворень різних сигналів можна дістати саме в разі використання поточкових характеристик сумарних процесів впливу завад. Ці питання розглядаються в [24], де розв'язується також задача, яка полягає в обчисленні ефективних значень за поточковими характеристиками, що важливо при проектуванні радіоліній і оцінюванні зон обслуговування.

3.3. Класифікація технічних засобів за показниками електромагнітної сумісності

Із викладеного раніше випливає, що джерелами електромагнітних завад можуть виступати не лише радіоелектронні, а й інші технічні засоби (ТЗ). Чимало ТЗ, що зазнають впливу завад, самі можуть бути рецепторами завад. Властивість ТЗ виступати в ролі рецептора завад називається *сприйнятливістю*.

Електромагнітна сприйнятливість ТЗ — це нездатність його функціонувати без погіршення якості за присутності електромагнітних завад.

Під стороннім збуренням розуміється такий вплив, сприймати який у номінальному режимі функціонування дана система не повинна. Сприйнятливість характеризує вразливість рецептора.

Так, для радіоприймача вразливість означає, що він сприймає заваду будь-яким (основним чи побічним) каналом приймання. Зрозуміло, що сприйнятливість лише по основному каналу приймання еквівалентна чутливості приймача. Адже поняття «чутливість» стосується реакції на корисний сигнал.

Отже, поняття ЕМС охоплює ширший клас виробів, що їх називають ТЗ, аніж РЕЗ. Багато ТЗ (зокрема й РЕЗ) можуть бути водночас як джерелами, так і рецепторами завад.

Джерела й рецептори внутрішньо- і міжсистемних електромагнітних полів ілюструють відповідно рис. 3.4 і 3.5.

Зауважимо, що за допомогою рис. 3.5 можна проілюструвати наслідки незадовільного розв'язання проблеми ЕМС у центрі управління повітряним рухом (для визначеності — військової належності); вплив завад може викликати:

- появу хибних цілей на індикаторній системі радіолокаційної станції, а через це — спрацювання систем протиповітряної оборони як реакції на хибні цілі;

- навігаційні помилки авіаційних систем, а отже, і зіткнення літальних апаратів, зумовлене навігаційними помилками;

- помилки посадочних (курсоглісадних) систем авіації, що призведуть до авіакатастрофи при посадці через помилки у визначенні висоти й похило-го ковзання літального апарата;

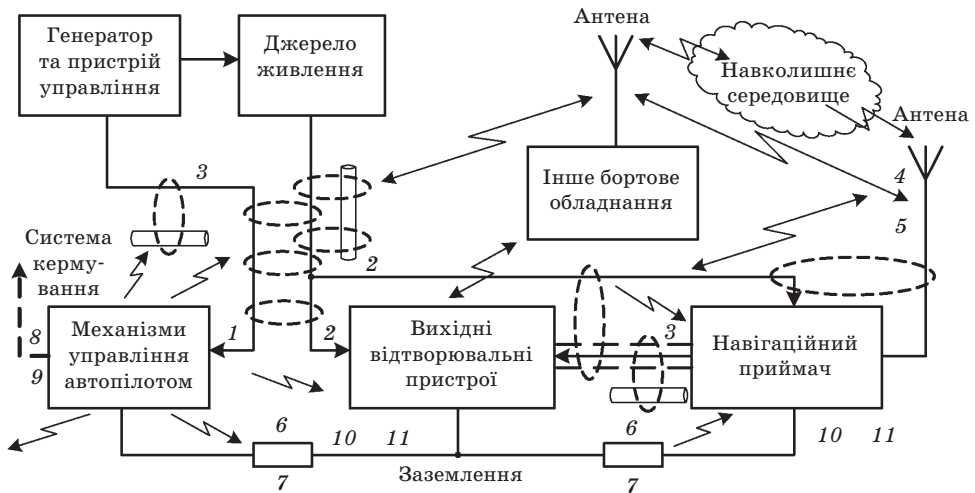


Рис. 3.4. Джерела й рецептори внутрішньосистемних електромагнітних полів:
 1, 2 — відповідно випромінювання та сприйнятливість кабелю живлення;
 3 — випромінювання з'єднувального кабелю; 4, 5 — відповідно випромінювання та сприйнятливість антенного фідера; 6, 7 — еквівалентний імпеданс спільного контура заземлення, що відіграє роль як джерела, так і рецептора завад; 8, 9 — випромінювання магнітного та електричного поля; 10, 11 — сприйнятливість до магнітного та електричного поля

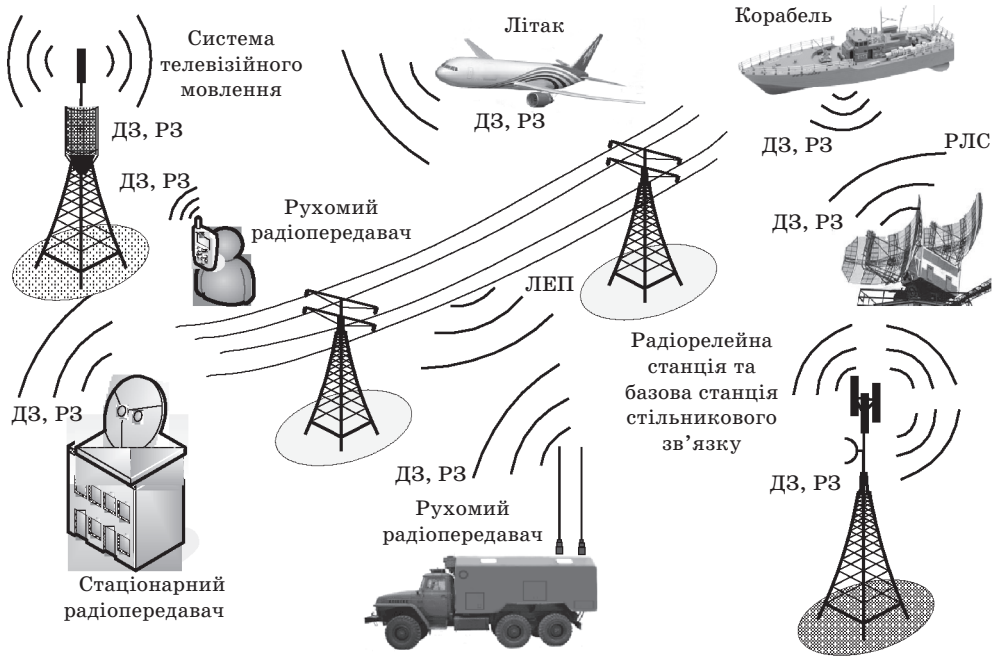


Рис. 3.5. Джерела й рецептори міжсистемних електромагнітних полів
 (ДЗ, РЗ — відповідно джерело й рецептор завад)

● порушення зв'язку та появу хибних команд телеуправління піротехнічними приладами, електроспалахувачами в ракетах тощо.

Згідно з ГОСТ 29192-91 усі технічні засоби класифіковано за функціональним призначенням. При цьому виокремлено чотири категорії, 21 клас та 48 підкласів.

За умовами експлуатації технічні засоби поділяються на такі групи:

A1 — технічні засоби, розміщені на космічних об'єктах, ракета-носіях;

A2 — земні станції та технічні засоби забезпечення технічних засобів групи A1;

B1 — технічні засоби, розміщені на літальних апаратах;

B2 — наземні технічні засоби забезпечення безпеки польотів;

V1 — технічні засоби, розміщені на кораблях;

V2 — наземні технічні засоби забезпечення безпеки плавання;

Г — наземні технічні засоби, розміщені у критичних зонах;

Д — наземні технічні засоби, розміщені поза межами критичних зон і пов'язані з технічними засобами групи Г спільними силовими колами;

Е — наземні технічні засоби, розміщені поза межами критичних зон і такі, що не належать до технічних засобів групи Д.

Критична зона — рухомий або стаціонарний об'єкт чи ділянка території з розміщеними на них технічними засобами, зниження якості функціонування яких через вплив електромагнітних завад може призвести до неприпустимого зниження ефективності технічної системи, що включає в себе як елемент один із цих засобів, або до зниження якості послуг населенню, що мають на меті забезпечення його життєдіяльності.

Припустимий рівень ефективності конкретизовано в технічних умовах (ТУ) або інших нормативно-технічних документах (НТД) на групу однорідних засобів.

У НТД припускається подальший поділ груп ТЗ на підгрупи залежно від конкретних умов експлуатації технічних засобів.

Стосовно радіозасобів цю конкретизацію наведено в наступному розділі.

3.4. Показники електромагнітної сумісності технічних засобів

Для кожного з підкласів (або класу ТЗ за відсутності його деталізації на підкласи) наведено такий рекомендований для стандартизації та сертифікації перелік видів характеристик ЕМС (рис. 3.6):

- рівень напруженості поля ІРЗ, створюваних ТЗ;
- рівень напруги ІРЗ, створюваних ТЗ у колах живлення, управління, передавання інформації, комутації, заземлення;
- рівень потужності ІРЗ, створюваних ТЗ;
- рівень сприйнятливості (стійкості) ТЗ до імпульсних електромагнітних впливів;
- рівень сприйнятливості (стійкості) ТЗ до поля електромагнітного випромінювання;
- рівень сприйнятливості (стійкості) ТЗ до імпульсних завад у колах живлення;
- рівень сприйнятливості (стійкості) ТЗ до динамічних змін (підвищення, зниження та зникнення) напруги в мережі живлення;
- рівень побічного радіовипромінювання радіопередавального пристрою;
- рівень позасмугового радіовипромінювання радіопередавального пристрою;
- відхилення частоти радіопередавального пристрою;

- рівень шумового радіовипромінювання радіопередавального пристрою;
- рівень електромагнітного поля, створюваного радіопередавальним пристроєм в обхід антени;
- рівень сприйнятливості радіоприймального пристрою за побічними каналами приймання;
- характеристика частотної вибірності радіоприймального пристрою за інтермодуляцією;
- характеристика частотної вибірності радіоприймального пристрою за блокуванням або перехресними спотвореннями;
- рівень сприйнятливості радіоприймального пристрою по сусідньому каналу;
- рівень електромагнітного поля, створюваного гетеродином радіоприймального пристрою;
- коефіцієнт прямокутності основного каналу приймання радіоприймального пристрою;
- рівень бічних і задніх пелюсток діаграми спрямованості антени;
- рівень сприйнятливості (стійкості) до низькочастотних кондуктивних завад по колах живлення та управління.

Далі наведено деякі визначення термінів, використаних на рис. 3.6.

Лінії живлення — лінії, що відходять від джерела живлення змінного або постійного струму.

Лінії управління — лінії, призначені для управління, сигналізації та вимірювань.

Сигнальне та інформаційне коло — електричне коло, що складається з технічних засобів, функціональне призначення яких полягає у створенні, розподілі й перетворенні параметрів електричних сигналів, а також у перетворенні електричних сигналів у сигнали іншої природи.

Первинний перетворювач електричних сигналів — технічний засіб, який перетворює сигнали неелектричної природи на електричні і/або забезпечує зчитування електричних сигналів з носіїв інформації.

Кінцевий перетворювач електричних сигналів — технічний засіб, який перетворює електричні сигнали в сигнали іншої природи і/або забезпечує запис електричних сигналів на носій інформації.

Радіочастотне коло передавання сигналу — електричне коло технічного засобу, призначене для приймання від іншого технічного засобу або передавання іншому технічному засобу радіочастотного сигналу.

Нестабільність частоти — зміна частоти основного випромінювання (або коливання) технічного засобу, не передбачена режимом його роботи.

Побічне випромінювання (коливання) — електромагнітне випромінювання (коливання) через антену (на затискачах вихідного радіочастотного кола) технічного засобу, не передбачене в цьому режимі роботи його функціональним призначенням.

Інтермодуляція за входом — виникнення небажаного відгуку на виході технічного засобу в результаті взаємної модуляції двох чи більшої кількості електромагнітних завад, що впливають на вхідне радіочастотне коло передавання сигналу й мають частоти, які перебувають за межами основної смуги пропускання або основного каналу приймання технічного засобу.

Інтермодуляція за виходом — взаємна модуляція у вихідних каскадах технічного засобу між основним коливанням цього технічного засобу та елек-

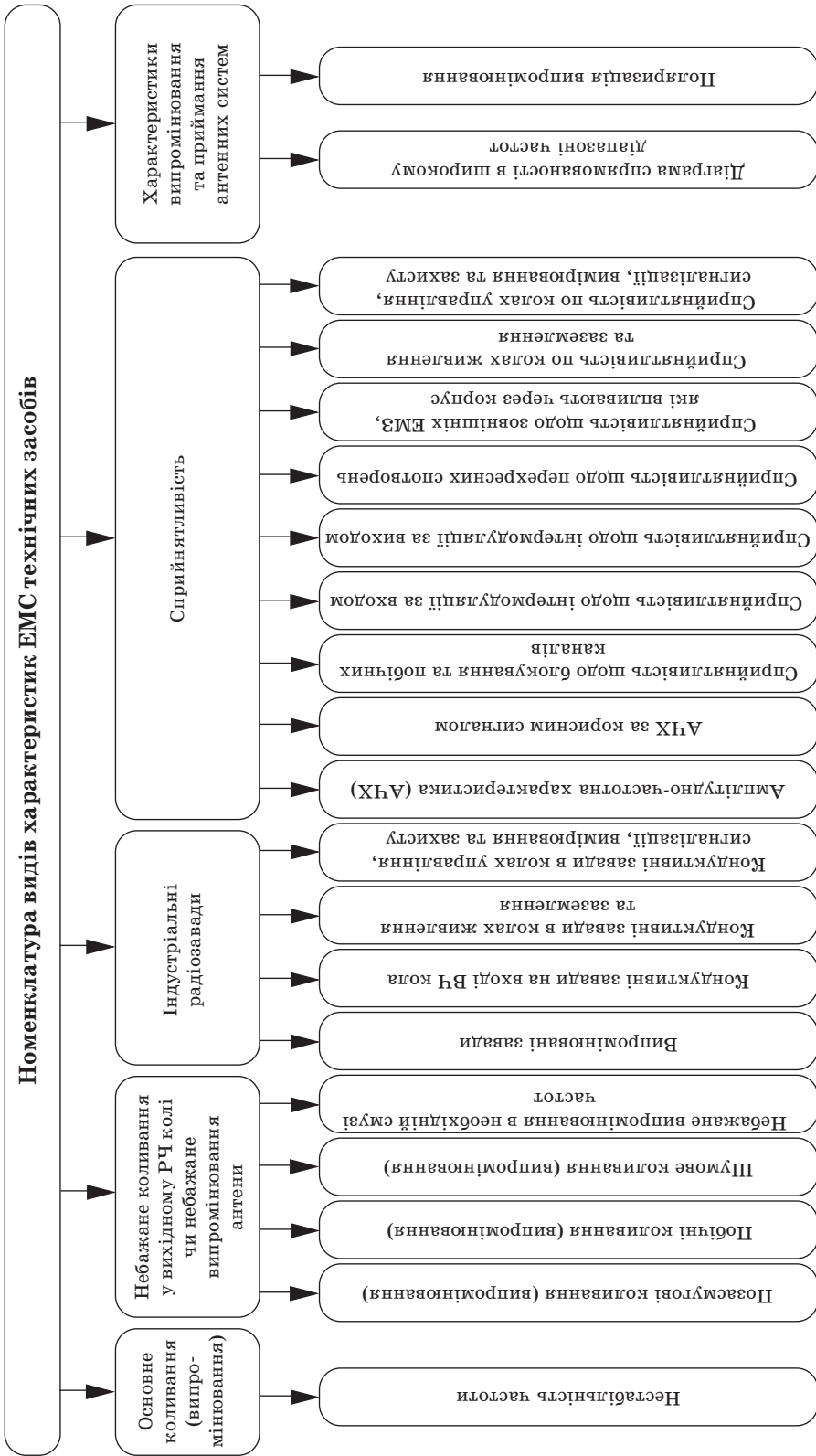


Рис. 3.6. Перелік видів характеристик ЕМС, рекомендований для стандартизації та сертифікації

тромагнітним коливанням, наведеним у його вихідному радіочастотному колі передавання сигналу іншим технічним засобом.

Насамкінець зазначимо, що параметри (характеристики) ЕМС різних технічних засобів відбивають їхню системну ознаку, тобто можливості кожного засобу функціонувати спільно з іншими технічними засобами в єдиній системі.

Цією ознакою параметри ЕМС будь-якого засобу відрізняються від функціональних параметрів того самого засобу, що відбивають його здатність виконувати своє призначення (тобто «працювати високоякісно»). Вочевидь, під час створення та експлуатації окремих пристроїв (систем) не можна дбати лише про додержання вимог щодо їхнього автономного функціонування. Адже немає сенсу вважати продукцію високоякісною, якщо вона «нормально функціонує», виконуючи власне призначення, але при цьому порушує «нормальне функціонування» іншої продукції.

Це означає, що якість продукції, яка має електромагнітні властивості, необхідно оцінювати із системних позицій за комплексними показниками (у вигляді сукупності функціональних параметрів та параметрів ЕМС).

Вимоги до впорядкування системних властивостей різних технічних засобів закріплюються у вигляді стандартних норм на параметри ЕМС, які мають урахуватися при визначенні «якості продукції».

3.5. Сертифікація технічних засобів на відповідність нормам електромагнітної сумісності

Згідно з ГОСТ 29037-91 для підприємств і організацій, які здійснюють серійний випуск технічних засобів, і їх імпортерів обов'язковою є сертифікація на відповідність вимогам (нормам) щодо ЕМС. Ідеться про такі загальні види технічних засобів:

- автомобільні засоби та інші пристрої з двигунами внутрішнього згоряння;
- вироби та обладнання промислового, транспортного й енергетичного призначення;
- вироби електронної техніки;
- лінії електропередавання та електричні підстанції;
- промислові, наукові, медичні й побутові високочастотні установки;
- радіоелектронні засоби;
- засоби обчислювальної техніки й інформатики;
- засоби вимірювань;
- телевізійна й відеоапаратура, пристрої провідного зв'язку та передавання даних;
- електрорухомий склад наземного міського та залізничного транспорту;
- електропристрої побутового й медичного призначення;
- світильники з люмінесцентними лампами.

Відповідно до зазначеного стандарту на незнімну частину виробів має наноситися знак відповідності технічних засобів вимогам щодо ЕМС. Той самий знак має проставлятися також в експлуатаційній та супровідній документації на виріб.

У цьому самому стандарті визначено й перелік технічних характеристик, що визначають ЕМС ТЗ при сертифікації.

Як приклад у табл. 3.7 і 3.8 наведено обов'язкові норми на індустріальні радіозавади від обладнання інформаційної техніки (ЕОМ, обчислювальні комплекси й системи, проблемно-орієнтовані процесори, периферійне обладнання, засоби для побудови обчислювальних мереж, сервісне обладнання, спеціальні пристрої обробки й передавання інформації) у смузі частот 0,15...1000 МГц (ГОСТ 29216-91). Щоб уникнути неоднозначності тлумачення термінів, у державних стандартах наводяться визначення застосованих термінів.

Таблиця 3.7

Обов'язкові норми на несиметричну напругу радіозавад на мережних затискачах обладнання, дБмкВ

Смуга частот, МГц	Для обладнання поза житловими будівлями й такого, що не підмикається до електромереж житлових будівель		Для обладнання в житлових будівлях або такого, що підмикається до електромереж цих будівель	
	Квазіпікове значення	Середнє значення	Квазіпікове значення	Середнє значення
0,15...0,5	79	60	66...56	56...46
0,5...5			56	46
0,5...30	73	60		
5...30			60	50

Таблиця 3.8

Обов'язкові норми на квазіпікове значення напруженості поля, дБмкВ/м, завод на відстані R

Смуга частот, МГц	R , м	Напруженість поля	R , м	Напруженість поля
30...230	10	40	3	40
230...1000	10	47	3	47

Норми на індустріальні завади — припустимі значення напруги, напруженості поля, струму або перераховані значення потужності індустріальних радіозавад, виражені відповідно в децибелах відносно 1 мкВ, 1 мкВ/м, 1 мкА, 1 пВт і встановлені на статистичній основі та регламентовані в НТД.

Завада обчислювальній машині — електромагнітна завада, що спотворює або може спотворити інформацію, яка зберігається, обробляється або передається обчислювальною машиною.

Завада від обчислювальної машини — електромагнітна завада, створена обчислювальною машиною в під'єднаних до неї зовнішніх колах живлення, заземлення, управління та зв'язку й у навколишньому середовищі.

Симетрична завада — завада, що спостерігається у вигляді напруги довільної форми між фазовим чи двома фазовими вводами проводів від джерела первинного електроживлення або між уводами проводів ліній зв'язку обчислювальної машини.

Несиметрична завада — завада, що спостерігається у вигляді напруги довільної форми між уводом проводу від джерела первинного електроживлення або уводом проводу лінії зв'язку обчислювальної машини та затискачем заземлення її провідного корпусу.

У документі, де йдеться про вимоги щодо норм ЕМС, зазвичай наводиться й методика випробувань, здійснюваних із метою перевірки цих вимог. Беззаперечною є необхідність стандартизації вимірювань параметрів ЕМС.

Метрологічне забезпечення вимірювань у сфері ЕМС, як і будь-яких інших вимірювань, являє собою сукупність наукових основ, організаційних заходів, технічних засобів і правил, необхідних для досягнення єдності точності вимірювань параметрів технічних засобів на етапі розробки, виготовлення та експлуатації цих ТЗ.

Випробовування на завадостійкість мають здійснюватися згідно з ГОСТ 29280-92.

Зауважимо, що ГОСТ 17822-91 установлює норми на параметри ІРЗ, створюваних двигунами внутрішнього згоряння. Додержувати цих норм важливо для забезпечення функціонування рухомих систем радіозв'язку в метровому й дециметровому діапазонах. Максимум інтенсивності завад від систем внутрішнього згоряння становить близько 27 МГц, причому зі зростанням частоти інтенсивність завад повільно зменшується. Проте завади такого походження можуть даватися взнаки до частот 1 ГГц, а для чутливих РЕЗ (наприклад, розміщених на наземних пунктах космічного радіозв'язку й астрономічних спостережень) — до 1,4 ГГц.

Для ілюстрації на рис. 3.7 наведено норми напруженості L поля, дБмкВ/м, розглядуваних радіозавад, виміряні приладом зі смугою пропускання $F_{\text{вим}} = 120$ кГц.

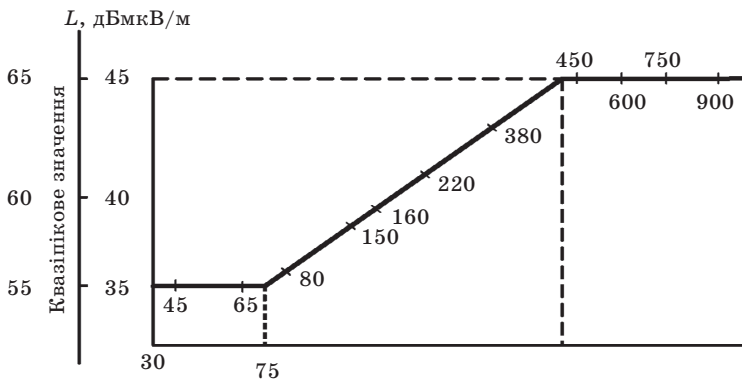


Рис. 3.7. Норми напруженості L поля радіозавад, створюваних двигунами внутрішнього згоряння

ЗАДАЧІ

Задача 1. Обчислити мінімальну товщину стінок екранувального сталевого бокса для встановлення радіоприймача, якщо в цьому місці присутня потужна завада (густина потоку енергії дорівнює 5 дБВт/см^2 на частоті 320 МГц), а за умовами експлуатації радіоприймача рівень завади має не перевищувати 1 мВт/см^2 .

Розв'язання. Необхідний коефіцієнт екранування за густиною потоку енергії визначаємо за формулою

$$K_r = 10 \lg \frac{P_0}{P_1},$$

де P_0, P_1 — густина потоку енергії завади відповідно за відсутності та за наявності екрана.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$K_r = 10 \lg \frac{5000}{1} \approx 37 \text{ (дБ)}.$$

Із таблиці для сталі на частоті 300 МГц знаходимо коефіцієнт послаблення електромагнітних хвиль $K = 77,4 \text{ дБ/мм}$.

Коефіцієнт K , дБ/мм, послаблення електромагнітних хвиль у металах

Частота, МГц	Сталь	Мідь	Алюміній	Цинк	Латунь
0,1	47,6	32,3	29,5	26,4	25,6
0,3	52,0	37,1	34,3	31,2	26,8
1,0	56,5	42,3	39,5	37,5	35,6
3,0	60,8	47,2	44,1	40,8	40,0
10,0	65,6	52,3	49,5	46,4	45,6
30,0	69,5	57,1	54,3	51,1	50,4
100,0	75,6	62,3	59,5	56,3	55,6
300,0	77,4	67,6	64,1	60,8	60,0
1000,0	81,6	72,3	69,5	66,4	65,6

Використання даних для частоти 300 МГц , а не 320 МГц у цьому разі виправдане, оскільки ефективність екранування підвищується зі зростанням частоти. Отже, здобутий результат забезпечує виконання заданої вимоги з деяким запасом.

Ураховуючи співвідношення $K_r = K \cdot d$, для екрана товщиною d дістаємо:

$$d = \frac{K_r}{K} = \frac{37}{77,4} = 0,48 \text{ (мм)}.$$

Відповідь. Товщина сталевого екрана має бути не меншою за $0,5 \text{ мм}$.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Аргументуйте актуальність проблеми електромагнітної сумісності технічних засобів.

2. Наведіть визначення електромагнітної сумісності технічних засобів. Обґрунтуйте найважливіші причини загострення проблеми ЕМС.

3. У чому полягає відмінність між забезпеченням завадостійкості радіоприймання та забезпеченням електромагнітної сумісності технічних засобів?

4. Яка різниця між завадостійкістю та завадозахищеністю приймання?

5. Наведіть класифікацію радіозавад та подайте їх визначення.

6. У чому полягає відмінність між сприйнятливістю радіоприймача та його чутливістю?

7. Наведіть класифікацію та характеристику внутрішньосистемних радіозавад.

8. Дайте визначення та характеристику міжсистемних радіозавад.

9. Які поля належать до електромагнітних полів природного походження? Наведіть характеристику космічних шумів.

10. Розкрийте сутність і наведіть характеристики атмосферних і електростатичних завад.

11. Наведіть класифікацію радіозавад за видами середовища поширення.

12. У чому полягає сутність поділу радіозавад за частотно-часовими властивостями?

13. Наведіть класифікацію радіозавад за характером взаємодії з корисним (прийманим) сигналом.

14. Подайте класифікацію та характеристику різних видів індустріальних завад.

15. Розкрийте причини виникнення контактних радіозавад і аргументуйте способи їх послаблення (подавлення).

16. Розкрийте причини виникнення кондуктивних радіозавад і аргументуйте способи їх послаблення (подавлення).

17. Подайте класифікацію показників ЕМС технічних засобів за функціональним призначенням.

18. Наведіть класифікацію показників ЕМС технічних засобів за умовами експлуатації.

19. Наведіть номенклатуру параметрів ЕМС технічних засобів. Як потрібно розуміти кожний із параметрів?

20. Аргументуйте цілі сертифікації технічних засобів на відповідність параметрам ЕМС.

21. Поясніть, з якою метою в державних стандартах окрім норм параметрів ЕМС технічних засобів має зазначатися методика вимірювання цих параметрів та відповідна термінологія?

22. У чому полягає суть технічних і організаційних заходів, спрямованих на використання ресурсу різними радіосистемами без взаємних завад?

23. Дайте визначення таких термінів:

- технічні засоби;
- радіоелектронні засоби;
- радіосистема.

24. Сформулюйте визначення таких термінів:

- електромагнітна сумісність;
- завада та радіозавада.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Вплив одних технічних засобів (ТЗ) на інші може здійснюватися через навколишній простір (наприклад, від передавальної антени до передавальної чи приймальної антени). У такому разі завади джерела завад називаються завадами випромінювання. Боротьба з ними є однією з цілей управління використанням радіочастотного ресурсу (РЧР).

Важливість знань із технічних основ використання РЧР зумовлюється причинами, про які йдеться далі. Зазвичай на повноважний національний орган ДСС ЗЗІ України покладено відповідальність за управління використанням РЧР в Україні. Він визначає національну політику, плани розподілу радіочастот, припустимі стандарти й технічні умови на обладнання для забезпечення гармонійного використання РЧР в інтересах населення країни, а також технічні характеристики передавачів і приймачів. Саме цей орган обмежують можливі варіанти управління використанням спектра і визначає вільні від завад частоти, які можуть присвоюватися в будь-якому заданому місці.

Кожний обраний варіант управління використанням РЧР має бути технічно прийнятним, і реалізовувати його слід відповідно до технічних правил і обмежень. Технічні умови на обладнання здебільшого використовуються для встановлення *припустимих технічних характеристик обладнання*, зазвичай використовуюваного у великій кількості багатьма користувачами однієї й тієї самої радіослужби. Аргументація щодо необхідності стандартизації характеристик обладнання міститься, зокрема, у Рекомендації 71, ухваленій 1979 року на Всесвітній адміністративній конференції радіозв'язку в Женеві.

У технічних умовах на обладнання крім припустимих технічних характеристик розглядаються *припустимі технічні параметри електромагнітної сумісності (ЕМС)*, яких у цьому обладнанні потрібно суворо дотримуватися з огляду на необхідність ефективного використання спектра та зведення до мінімуму завад на обох кінцях лінії: як з боку передавача, так і з боку приймача.

Зазвичай зазначені технічні умови не стосуються технічних характеристик, що визначають якість функціонування обладнання для задоволення потреб користувача.

Ще одна категорія технічних умов охоплює, як правило, обладнання малої потужності, що звільняється від ліцензування через обмеженість свого радіуса дії. Робота такого обладнання дозволена в певних смугах частот. Прикладами відповідного обладнання є пристрої для відчинення дверей у гаражах, пристрої охоронної сигналізації та пристрої керування для іграшок, а також останні моделі безпроводових телефонів. У цій категорії технічних

умов на обладнання розглядаються лише характеристики передавачів, такі як максимальна потужність, припустимі рівні гармонік і стабільність частоти; у цьому разі захист від завад не надається.

Технічні умови на обладнання мають також містити технічні характеристики радіомовних передавачів, такі, скажімо, як види та глибина модуляції, смуги частот і граничні значення стабільності, припустима потужність та критерії подавлення шумів.

Для технічних засобів конкретних підкласів перелік видів характеристик ЕМС та відповідних параметрів конкретизовано у стандартах на групи однорідної продукції. Так, для радіоелектронних засобів згідно з ГОСТ 23872-79 було передбачено номенклатуру параметрів для підкласів «радіопередавачі», «радіоприймачі», «антенні пристрої» та «обладнання — джерела індустріальних завад».

Регламентом радіозв'язку встановлено норми на параметри радіопередавачів, які з метою ефективного використання спектра мають суворо виконуватися під контролем відповідних органів.

Розглядувані тут технічні параметри використовуються також при сертифікації апаратури, про що йтиметься далі.

4.1. Параметри радіопередавальних засобів, що впливають на ефективність використання радіочастотного спектра

Класифікацію технічних характеристик і номенклатуру параметрів радіопередавачів за ЕМС наведено на рис. 4.1.

4.1.1. Основне випромінювання

Основне радіовипромінювання — випромінювання радіопередавального пристрою в необхідній смузі частот (рис. 4.2).

Необхідна смуга радіочастот — мінімальна смуга радіочастот даного класу випромінювання, достатня для передавання сигналу з необхідною швидкістю та належною якістю.

Нагадаємо, що класифікацію випромінювань наведено в табл. 1.2, перший стовпець якої характеризує необхідну смугу радіочастот випромінювання (позначається трьома цифрами та однією літерою).

Параметри основного випромінювання такі:

- потужність, Вт (або у відносних одиницях дБВт);
- поверхнева густина потоку потужності, Вт/м² (або у відносних одиницях дБВт/м²), для бортових передавачів супутників;
- необхідна смуга частот, Гц;
- ширина контрольної смуги частот, Гц;
- відхилення носійної частоти, Гц;
- вид і параметри модуляції;
- послаблення носійного коливання та подавлення невикористовуваної бічної смуги, дБ, для односмугових радіопередавачів.

Вихідна потужність передавача може набувати різних значень — потужності носійної, середньої, пікової, імпульсної.

Потужність носійної визначається в режимі безперервного випромінювання за відсутності модуляції.

Середня потужність — це вихідна потужність, усереднена за час, що перевищує період найменшої частоти модуляції первинного сигналу.

Пікова потужність відповідає максимальній амплітуді радіосигналу.

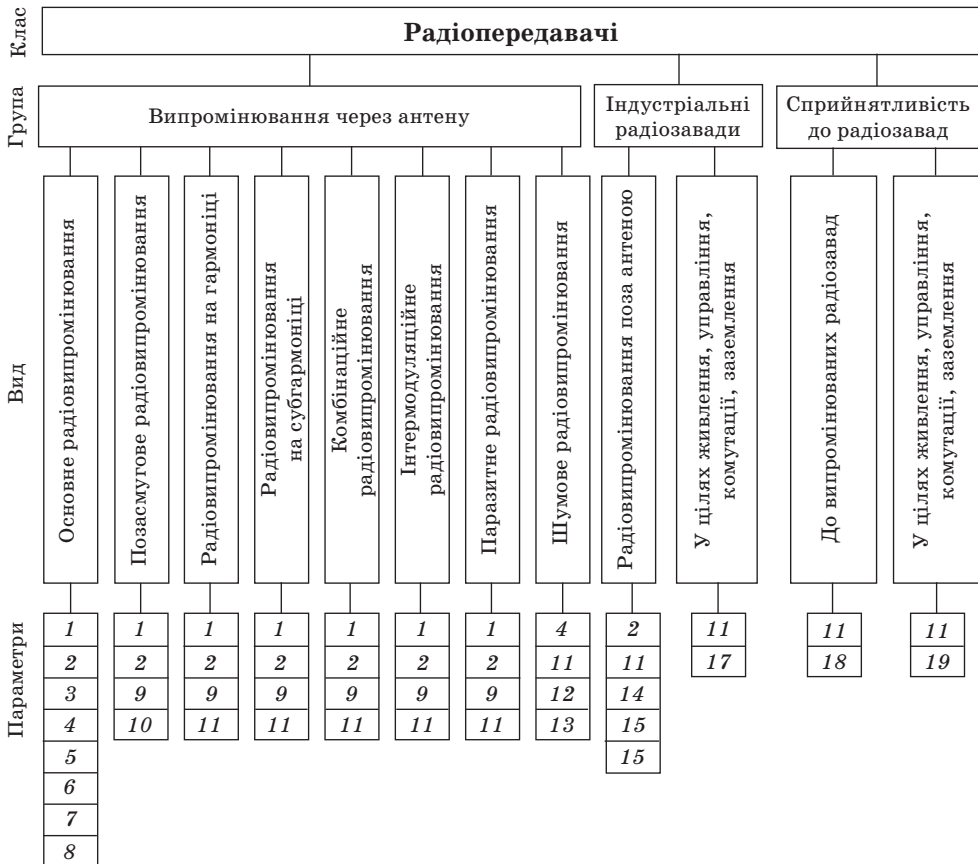


Рис. 4.1. Класифікація технічних характеристик і номенклатура параметрів радіопередавачів за EMC: 1 — потужність (напруга), Вт; 2 — поверхнева густина потоку потужності (напруженість електричного поля), Вт/м² (В/м); 3 — відхилення (нестабільність) частоти; 4 — ширина займаної смуги частот, Гц; 5 — ширина контрольної смуги частот, Гц; 6 — вид і параметри модуляції; 7 — послаблення носійної частоти (для односмугових радіопередавачів), дБ; 8 — подавлення невикористовуваної бічної смуги частот (для односмугових радіопередавачів), дБ; 9 — спектральна густина потоку потужності, Вт/(м² · Гц); 10 — смуга частот, Гц, на рівні X дБ; 11 — частота, Гц; 12 — спектральна густина потужності (напруги) шуму, Вт/Гц (В/Гц); 13 — відношення спектральної густини потужності (напруги) шуму до потужності (напруги) основного радіовипромінювання, дБ; 14 — напруженість електричного поля, В/м; 15 — напруженість магнітного поля, А/м; 16 — ширина смуги частот, Гц; 17 — напруга (струм), В (А); 18 — рівень сприйнятливості до електромагнітного (електричного, магнітного) поля, Вт/м² (В/м, А/м); 19 — рівень сприйнятливості до напруги (струму), В (А)

Імпульсна потужність визначається як середнє значення потужності за час тривалості імпульсу.

Коефіцієнти перерахунку між зазначеними видами потужності наведено в Рекомендації ITU-R SM.326-7 [126].

При оцінюванні EMC радіоліній слід брати до уваги, що випромінювана потужність пов'язана з коефіцієнтом G_A підсилення антени. З урахуванням значення G_A розглядається поняття ефективно випромінюваної потужності. Вона дорівнює добутку потужності, що підводиться через узгоджене коло до антени, помноженій на коефіцієнт G_A . При цьому етелонною антеною, відносно якої визначається G_A , може бути:

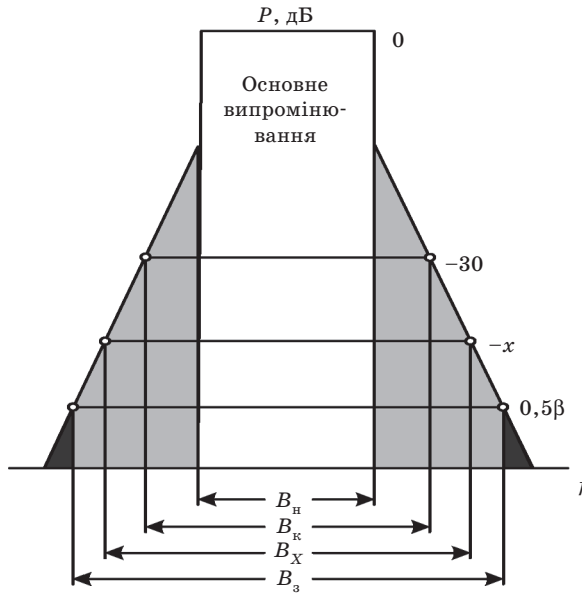


Рис. 4.2. Основне та позасмугове (позначене заштрихованими ділянками площини) випромінювання радіопередавального пристрою

- ізотропна антена;
- півхвильовий диполь;
- короткий лінійний провідник довжиною $L \ll \lambda_0/4$.

З огляду на це розрізняють такі коефіцієнти підсилення: ізотропний G_{AI} , відносно диполя G_{AD} і відносно вертикальної антени G_{AV} . Відповідно до цього використовують поняття *ефективної ізотропної випромінюваної потужності (ЕІВП)*, *ефективної випромінюваної потужності (ЕВП)* та *ефективної монопольно випромінюваної потужності (ЕМВП)*. Норми на ці параметри та значення їхніх припустимих відхилень встановлює ГОСТ 15420.

Ширина смуги випромінювання. Енергетичний спектр випромінювання радіопередавача на присвоєній частоті, створений процесом модуляції (маніпуляції), складається з двох частин (див. рис. 4.2). Першу становить основне випромінювання (у необхідній смузі B_n), а другу — позасмугове (таке, що розширює смугу частот випромінювання до займаної смуги B_z). Основне випромінювання містить спектральні складові в необхідній смузі частот, а позасмугове випромінювання — поза цією смугою. Таким чином, у спектрі випромінюваних радіосигналів з'являються складові, що перебувають за межами необхідної смуги частот B_n основного випромінювання. Ці випромінювання не виправдано розширюють займану смугу частот і можуть створювати завади станціям, що працюють у сусідніх каналах.

Додаток 1 до Регламенту радіозв'язку вимагає, щоб необхідна ширина смуги частот була частиною повного позначення випромінювань.

Поняття **необхідна смуга частот**, наведене в Регламенті радіозв'язку, застосовується для описання спектральних властивостей даного класу випромінювань у найпростіший спосіб. Формули для обчислення необхідної ширини смуги випромінювання наведено в Рекомендації ITU-R SM.1138 [127].

Для багатоканальних випромінювань із частотним розділенням каналів і частотною модуляцією, а також сигналів із «цифровою модуляцією» (сигнали з фазовою маніпуляцією, ММС, багатопозиційною КАМ тощо) внесено доповнення в Рекомендацію ITU-R SM.853-1 [128].

Значення B_H визначається багатьма чинниками, головними з яких є такі:

- найвища частота модулюючого сигналу;
- швидкість передавання цифрової інформації;
- тривалість і крутизна фронтів імпульсного сигналу;
- кількість каналів у груповому модулюючому сигналі;
- частота підносійної;
- припустимі спотворення при мінімізації передаваної смуги частот.

Необхідна смуга частот легко обчислюється для амплітудно-модульованих сигналів, а саме $B_H = 2 F_{\text{макс}}$, де $F_{\text{макс}}$ — максимальна частота модулюючого сигналу. Для більшості інших класів випромінювань B_H визначається складнішими залежностями, деякі з яких наведено в додатку 5 до Регламенту радіозв'язку. Так, для випромінювання з частотною маніпуляцією $B_H = 5,2\Delta f_{\text{зсув}} + 0,55B$, де $\Delta f_{\text{зсув}}$ — значення частотного зсуву, B — швидкість маніпуляції в бодах; для випромінювань із подвійною частотною маніпуляцією $B_H = 4,4\Delta f_{\text{зсув}} + 4B$. У ряді випадків значення B_H визначається експериментально. При визначенні спектра позасмугових випромінювань наявне в межах B_H максимальне значення рівня випромінюваного сигналу береться за точку відліку (0 дБ).

Теоретично позасмугові випромінювання можна усунути без втрат переданого сигналу. Утім, практично вони присутні майже в усіх класах випромінювань передавачів. Існує низка причин, що викликають позасмугові випромінювання:

- застосування модулюючих сигналів із ширшою смугою, аніж це необхідно для даної системи;
- нелінійність у тракті модулюючого сигналу, а також нелінійність модуляційної характеристики передавача, унаслідок якої виникає додаткове розширення спектра модулюючого сигналу та з'являються нові складові як у спектрі необхідної смуги (спотворення), так і поза нею;
- маніпуляція носійного коливання імпульсами з дуже крутими (не скругленими) фронтами.

Параметрами неосновних випромінювань (див. рис. 4.1) є потужність (мВт, дБмВт), поверхнева густина потоку потужності (дБмВт/м²), спектральна густина потоку потужності (мВт/(м² · Гц) і смуга частот (Гц) на рівні X дБ відносно максимуму основного випромінювання.

Одна з характеристик ЕМС радіопередавача — це *займана смуга частот* B_3 на рівні відліку X дБ. Вимірювати займану смугу за значеннями граничних частот на рівні X дБ на практиці доволі зручно, оскільки при цьому можна використовувати звичайні аналізатори спектра.

Значення B_3 визначається як смуга частот, у межах якої зосереджено $(1 - \beta)\%$ потужності випромінювання на присвоєній частоті, а за її межами — по $0,5\beta\%$ цієї потужності. У разі, коли немає спеціальних застережень щодо значення β , то беруть $\beta = 1$.

При $B_3 = B_H$ говорять, що випромінювання *досконале*, причому воно є можливе лише на дуже низьких частотах. Більшість радіопередавачів має недосконале випромінювання, коли $B_3 > B_H$. У тих випадках, коли з метою заощадження РЧР припустимо дещо знизити швидкість або якість зв'язку, може використовуватися вузькосмугове випромінювання зі смугою $B_3 < B_H$.

Значення B_3 істотно залежить від форми модулюючого сигналу. Так, у разі амплітудної модуляції прямокутними імпульсами смуга B_3 стає значно ширшою, ніж при скруглених імпульсах, тоді як за частотної модуляції скруглення імпульсів менше дається взнаки. Для сигналів усіх класів випромінювання, окрім спеціально обумовлених, смуга B_3 не повинна перевищувати B_n більш ніж на 20%.

Позасмугові (як і інші неосновні) випромінювання є небажаними, оскільки вони непродуктивно «завантажують» радіочастотний ресурс. Саме тому в [1, стаття 4.5] рекомендовано: «частота, присвоєна станції даної служби, має бути достатньо віддаленою від меж смуги, розподіленої цієї служби, аби з урахуванням смуги частот, присвоєної станції, не створювалися завади тим службам, яким розподілено суміжні смуги частот».

Обвідна спектральної густини потужності позасмугового випромінювання являє собою спадну функцію від розстроювання відносно присвоєної частоти. Чим більша швидкість спадання цієї функції зі зміною частоти, тим менше завантажується РЧР небажаними випромінюваннями, а отже, тим кращим стає показник ЕМС передавача за позасмуговими випромінюваннями.

На жаль, не завжди параметри сигналів добираються із урахуванням рекомендацій щодо ЕМС РЕЗ. Так (намагаючись підвищити точність вимірювання координат цілі), в імпульсних радіолокаційних станціях (РЛС) досягають більшої близькості форми випромінюваних радіосигналів до прямокутної, тоді як Регламентом радіозв'язку рекомендовано працювати «скругленими» імпульсами. Це призводить до різкого розширення смуги частот, що її займає випромінювання РЛС.

Описуючи швидкість спадання інтенсивності позасмугового випромінювання, використовують смугу частот B_x на рівні X дБ відносно основного випромінювання. Зазвичай за нижній рівень випромінюваної потужності беруть $X = -60$ дБ. Йому відповідає $\beta = 0,5$.

Згідно з Рекомендацією ITU-R SM.328 [129] крутизна обвідної спектра за межами B_n має становити не менш як 30 або 50 дБ/декаду (далі — дБ/дек) при передаванні відповідно телеграфних і телефонних сигналів. Якщо сусідній щодо частотного каналу передавач має таку саму, що й даний діючий передавач крутизну обвідної спектра випромінювання, то необхідне значення крутизни при обчисленнях подвоюється і становить відповідно 60 і 100 дБ/дек.

Коли йдеться про контроль і нормування позасмугового випромінювання, а також у разі оцінювання частотного рознесення РЕЗ використовується *контрольна смуга частот B_k* (див. рис. 4.2), відлічувана на рівні $X = -30$ дБ. Її **перевищення неприпустиме**. Відлічувана на цьому рівні ширина контрольної смуги частот доволі адекватно відбиває якісні показники випромінювання, причому її можна пов'язати з необхідною шириною смуги випромінювання.

У Звітах 977, 324, 837 МККР наведено необхідну інформацію щодо визначення ширини смуги випромінювань для різних типів модуляції. Для певних класів випромінювання наведено докладні відомості щодо умов випробувань, які мають виконуватися при вимірюванні ширини смуги та позасмугових випромінювань. Окрім того, у Рекомендації ITU-R SM.328 [129] і в Довіднику з радіоконтролю [19] для контрольних станцій наведено методи вимірювання ширини смуги на рівні X дБ.

Випромінювання, що виникають у разі застосування багатоканальної та цифрової модуляції, а також немодульованих імпульсів, описано у Рекомендації ITU-R SM.853 [128].

Важливо, що за наявності норм на позасмугові випромінювання можна побудувати обвідну спектра для будь-якого класу випромінювання. Відомості про обвідну спектра потужності використовуються на етапі аналізу ЕМС РЕЗ. Зазвичай точна форма обвідної істотної ролі не відіграє, що дає змогу використовувати її апроксимації різного виду. Найчастіше вдаються до апроксимації обвідної відрізками прямих із застосуванням логарифмічної осі частот, що відповідає моделі, згідно з якою значення обвідної при розстроюванні відносно центра спектра на величину Δf подається у вигляді

$$M(\Delta f) = M(\Delta f_i) + M_i \lg(\Delta f / \Delta f_i), \quad (4.1)$$

де

$$\Delta f_i \leq \Delta f \leq \Delta f_{i+1}.$$

Тут i , Δf_i та M_i — відповідно номер, ширина апроксимованої ділянки та швидкість (у децибелах на декаду) зміни на ній обвідної.

Розглянемо приклад побудови моделі обвідної (рис. 4.3) згідно з наведеним співвідношенням для випромінювання класу R3E (радіомовлення) та даними табл. 4.1, де використано такі позначення:

B — швидкість передавання, Бод; F — частота модуляції, Гц; F_B і F_H — максимальна і мінімальна (що задається в ТУ) частота модуляції; D і $D_{\text{ном}}$ — максимальна і номінальна девіація частоти; m — індекс кутової модуляції (маніпуляції); $m'' = D_{\text{ном}} / F_B$; X_1, X_2, X_3, X_4 — рівні, на яких вимірюється смуга випромінювання; $B_{x1}, B_{x2}, B_{x3}, B_{x4}$ — ширина смуги випромінювань на відповідному рівні.

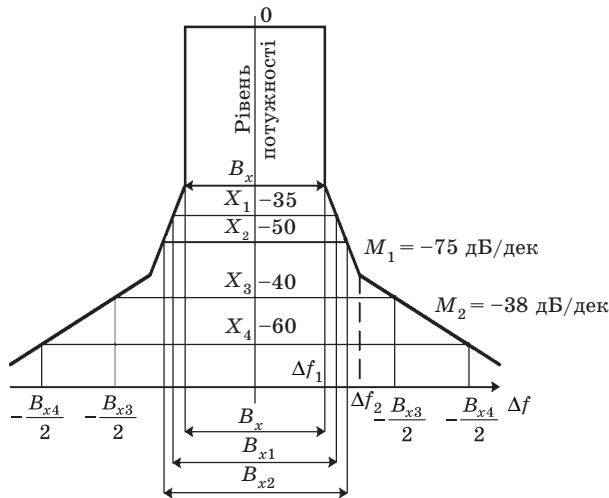


Рис. 4.3. Приклад побудови моделі обвідної для випромінювання класу R3E (радіомовлення)

Припустивши, що модель обвідної симетрична відносно центральної частоти спектра, визначимо межі ділянок апроксимації.

Межа першої ділянки визначається через необхідну смугу випромінювання B_n , що відповідає розстроюванню $\Delta f_i = B_n / 2$. Для розстроювань $\Delta f < \Delta f_i$ спектральну густину потужності беремо таку, щоб виконувалася рівність $M(\Delta f) = 0 = \text{const}$. Апроксимувальні криві (4.1) проводимо через точки, зазначені в табл. 4.1.

Дані для побудови моделі обвідної деяких випромінювань

Клас випромінювання	Ширина необхідної смуги частот B_H	Ширина контрольної смуги частот B_K	Формули для обчислення координат обмежувальної оцінки	
			по осі рівнів (мінус дБ)	по осі частот
1	2	3	4	5
Амплітудна модуляція				
A1A (A1B)	$B_H = kB$ Значення k (3 або 5) установлюється залежно від призначення передавача та діапазону використовуваних частот: $k = 5$ для ліній, що зазнають завмирань; $k = 3$ для ліній без завмирань	$B_K = B_H$	$X_1 = 40$ $X_2 = 50$ $X_3 = 60$	$B_{x1} = 1,3 B_H$ $B_{x2} = 1,6 B_H$ $B_{x3} = 2,0 B_H$
A2A	$B_H = 2F + B$	$B_K = 2F + 6,8B$	$X_1 = 35$	$B_{x1} = 2F + 10B$
J2A	$B_H = 5B$	$B_K = B_H$	$X_1 = 40$ $X_2 = 50$ $X_3 = 60$	$B_{x1} = 1,3 B_H$ $B_{x2} = 1,6 B_H$ $B_{x3} = 2,0 B_H$
A3E (мовлення)	$B_H = 2F_B$	$B_K = 1,2 B_H$	$X_1 = 40$ $X_2 = 45$ $X_3 = 50$ $X_4 = 60$	$B_{x1} = 1,35 B_H$ $B_{x2} = 1,4 B_H$ $B_{x3} = 1,9 B_H$ $B_{x4} = 3,3 B_H$
R3E (мовлення)	$B_H = F_B$	$B_K = 1,15 B_H$	$X_1 = 35$ $X_2 = 40$ $X_3 = 50$ $X_4 = 60$	$B_{x1} = 1,2 B_H$ $B_{x2} = 1,4 B_H$ $B_{x3} = 2,4 B_H$ $B_{x4} = 4,4 B_H$
J3E (мовлення)	$B_H = F_B - F_H$	$B_K = 1,20 B_H$	$X_1 = 40$ $X_2 = 50$ $X_3 = 60$	$B_{x1} = 2,2 B_H$ $B_{x2} = 4,0 B_H$ $B_{x3} = 6,9 B_H$
R8E, J8E	$B_H = 2F_B$	$B_K = 1,1 B_H$	$X_1 = 40$ $X_2 = 50$ $X_3 = 60$	$B_{x1} = 2,0 B_H$ $B_{x2} = 3,7 B_H$ $B_{x3} = 6,4 B_H$
Частотна модуляція				
F1A (F1B)	$B_H = 2,6D + 0,55B$ для $1,5 \leq m < 5,5$; $B_H = 2,1D + 1,9B$ для $5,5 \leq m \leq 20$; $B_H = 2D + 5B$ для $m > 20$	$B_K = 4,3B\sqrt{m}$ для $1,5 \leq m < 5,5$; $B_K = (m + 7) B$ для $5,5 \leq m \leq 20$	$X_1 = 40$ $X_2 = 50$ $X_3 = 60$	$B_{x1} = 5,8B\sqrt{m}$ для $1,5 \leq m < 5$; $B_{x1} = (1,2m + 7) B$ для $m \geq 5$; $B_{x2} = 8,1B\sqrt{m}$ для $1,5 \leq m < 12$; $B_{x2} = (1,2m + 15) B$ для $m > 12$; $B_{x3} = 11B\sqrt{m}$ для $1,5 \leq m < 16$; $B_{x3} = (1,3m + 23) B$ для $m \geq 16$

1	2	3	4	5
ФЗА; ГЗЕ (мовлення)	$B_{\text{н}} = 2D + 2 F_{\text{в}}$	$B_{\text{к}} = 1,15 B_{\text{н}}$		
ФЗЕ; ГЗЕ	$B_{\text{н}} = 2D + 2 F_{\text{в}}$	$B_{\text{к}} = B_{\text{н}}$	$X_1 = 40$ $X_2 = 50$ $X_3 = 60$	$B_{x_1} = (7,8m'' + 3) F_{\text{в}}$ для $0,25 \leq m'' \leq 1,3$; $B_{x_1} = (7,8m'' + 4) F_{\text{в}}$ для $m'' > 1,3$; $B_{x_2} = (8,4m'' + 4,4) F_{\text{в}}$ для $0,25 \leq m'' \leq 1,3$; $B_{x_2} = (8,4m'' + 6) F_{\text{в}}$ для $m'' > 1,3$; $B_{x_3} = (9m'' + 6) F_{\text{в}}$ для $0,25 \leq m'' \leq 1,3$; $B_{x_3} = (8,8m'' + 8) F_{\text{в}}$ для $m'' > 1,3$
* Для передавачів рухомої служби.				

Для одного відрізка за такі точки візьмемо $X_1, B_{x_1}/2$ і $X_2, B_{x_2}/2$, а для іншого — $X_3, B_{x_3}/2$ та $X_4, B_{x_4}/2$. Оскільки $B_{x_2}/2 = 0,7 B_{\text{н}}$, а $B_{x_3}/2 = 1,2 B_{\text{н}}$, то початок наступної ділянки апроксимації буде між $0,7 B_{\text{н}}$ та $1,2 B_{\text{н}}$.

Узявши в (4.1) $\Delta f_1 \leq \Delta f \leq \Delta f_2$ і прирівнявши спочатку $\Delta f = B_{x_1}/2$, а потім $\Delta f = B_{x_2}/2$ врахувавши, що $M(B_{x_1}/2) = X_1$ і $M(B_{x_2}/2) = X_2$, дістанемо таку систему рівнянь:

$$X_1 = M(\Delta f_i) + M_1 \lg \left(\frac{B_{x_1}}{2} \Delta f_i \right),$$

$$X_2 = M(\Delta f_i) + M_1 \lg \left(\frac{B_{x_2}}{2} \Delta f_i \right).$$

Розв'язок цієї системи подається у вигляді

$$M_1 = (X_1 - X_2) / \lg \left(\frac{B_{x_1}}{B_{x_2}} \right),$$

$$M(\Delta f_i) = \left[X_2 \lg \left(\frac{B_{x_1}}{2} \Delta f_i \right) - X_1 \lg \left(\frac{B_{x_2}}{2} \Delta f_i \right) \right] / \lg \left(\frac{B_{x_1}}{B_{x_2}} \right).$$

Після підставлення числових значень X_1 та X_2 , а також B_{x_1}, B_{x_2} і Δf_i у частках $B_{\text{н}}$ дістанемо $M_1 = -75$ дБ/дек, $M(\Delta f_i) = -29$ дБ.

Для наступної ділянки апроксимації ($\Delta f \geq \Delta f_2$) знаходимо $M_2 = -38$ дБ/дек. Далі для аналогічної системи рівнянь на ділянці апроксимації $\Delta f_1 \leq \Delta f \leq \Delta f_2$, виходячи з умови збігу значень обвідної сусідніх ділянок апроксимації при $\Delta f = \Delta f_2$, знаходимо такий вираз для обчислення Δf_2 :

$$\lg \Delta f_2 = \frac{\left\{ M(\Delta f_i) - X_3 + M_2 \lg \left(\frac{B_{x_3}}{2} \right) - M_1 \lg \Delta f_1 \right\}}{M_2 - M_1}.$$

Підставивши числові значення відомих величин, дістанемо:

$$\lg \Delta f_2 = \frac{\{-29 + 50 - 38 \lg(1,2 B_{\text{н}}) + 75 \lg(B_{\text{н}}/2)\}}{-38 + 75} = -0,124 + \lg B_{\text{н}};$$

$$M(\Delta f_2) = -29 - 75 \lg(0,75B_H / 0,5B_H) = -42 \text{ дБ.}$$

Тоді на ділянці $\Delta f \geq \Delta f_2$ маємо:

$$M(\Delta f) = -42 - 38 \lg(\Delta f / 0,75B_H) = -46,7 - 38 \lg(\Delta f / B_H).$$

Остаточню модель обвідної (див. рис. 4.3) набирає такого вигляду, дБ:

$$M(\Delta f) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } |\Delta f| \leq 0,5B_H; \\ -51,5 - 75 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } 0,5B_H < |\Delta f| \leq 0,75B_H; \\ -46,7 - 38 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } |\Delta f| \geq 0,75B_H. \end{cases}$$

У разі, якщо задано контрольну смугу B_K , то апроксимацію, аналогічну розглянутій, можна здійснити між точками $(0; 0,5 B_K)$ і $(-30; 0,5 B_K)$, і тоді обвідна доповниться штриховою лінією, як це зображено на рис. 4.3.

Обвідну спектра потужності в розглянутому прикладі дістали згідно з нормами на обмежувальну лінію спектра. Такий підхід цілком закономірний, коли немає відомостей про результати вимірювань. А коли дані вимірювань, то аналогічну методику можна застосовувати для апроксимації реального спектра. Оцінку значень обвідної спектра для конкретних видів випромінювань можна дістати й за допомогою теоретичного аналізу перетворень Фур'є цих випромінювань.

Коли йдеться про оперативне оцінювання ЕМС великої кількості РЕЗ, то найзручніше користуватися апроксимацією виду (4.1). При цьому вважають, що максимальне послаблення спектральних складових, які визначаються співвідношенням (4.1), дорівнює 100 дБ.

Шумове радіовипромінювання. Шумове радіовипромінювання — це небажане випромінювання, зумовлене шумами елементів радіопередавача. Джерелами шуму є будь-які елементи схем, які зазнають обтікання електричним струмом. Найсерйозніші трансформації (посилення чи послаблення рівня, розширення або звуження ширини смуги спектра) шумів відбуваються у схемах синтезу частот (синтезаторах). Спектр шумових випромінювань займає широку смугу частот (рис. 4.4).

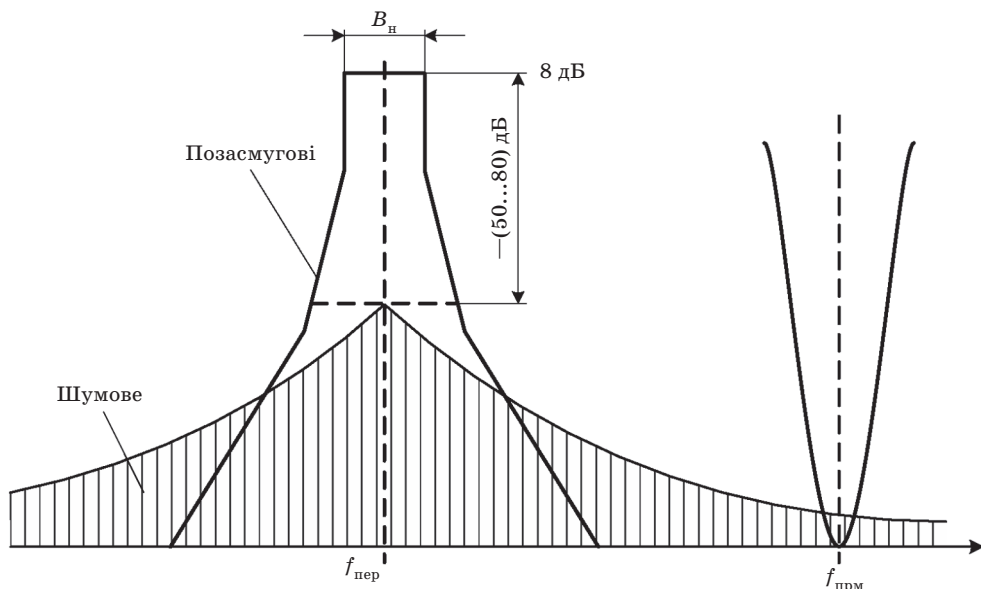


Рис. 4.4. Шумове радіовипромінювання

За деякого відстроювання від носійної частоти передавача шумові випромінювання визначаються флуктуаціями частоти (фази) коливань, оскільки флуктуації амплітуди являють собою вузькосмуговий процес. Поблизу носійної рівень шуму передавача на 50...80 дБ нижчий від рівня корисного сигналу. Тому наявність шуму в необхідній смузі випромінювання $B_{\text{н}}$ практично не впливає на якість корисного сигналу.

Практичне значення шумових випромінювань як параметра ЕМС полягає в тому, що вони *створюють завади прийманню в сусідніх каналах приймачів*, що особливо дається взнаки в рухомих системах радіозв'язку. У таких системах шумові випромінювання істотно впливають на вибір частот сусідніх каналів, а також на значення дуплексного рознесення частот $f_{\text{пр}}$ та $f_{\text{пер}}$ відповідно приймача та передавача.

Інтенсивність шумових випромінювань визначається спектральною густиною потужності, яка вимірюється при певних значеннях відстроювання від частоти основного випромінювання. Здебільшого їхня інтенсивність визначається у смузі 1 Гц (або 3 кГц).

Для оцінювання потужності шумів використовують відносні одиниці, при цьому за відліковий беруть рівень $P_0 = 10^{-11,5}$ Вт (позначення рівня в дБк) або n -рівень $P_0 = 10^{-12}$ Вт = 1 пВт (позначення рівня в дБп). Іноді нормування здійснюється відносно рівня носійного коливання.

Амплітудно-частотні характеристики шумових випромінювань двох радіопередавачів, що працюють у діапазоні частот 150...174 МГц та 450...466 МГц, наведено на рис. 4.5. Бачимо, що спектр шумів розширюється з підвищенням робочих частот.

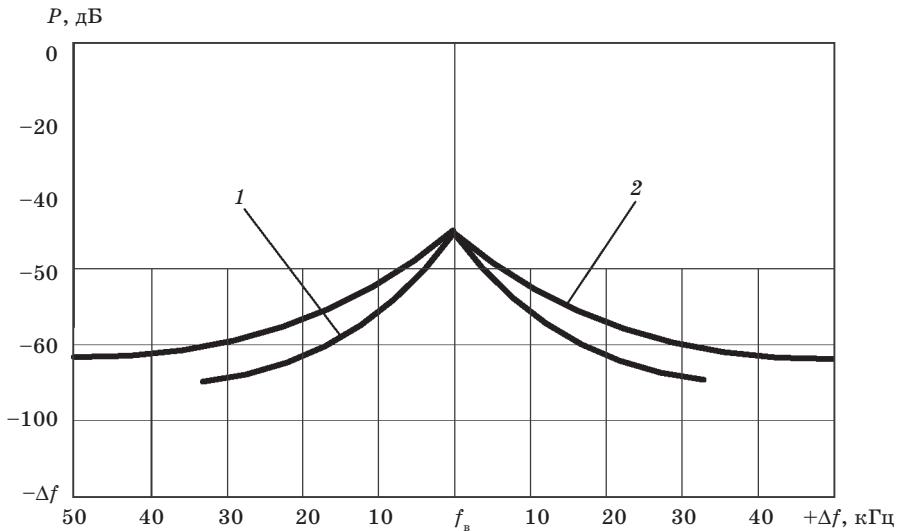


Рис. 4.5. Амплітудно-частотні характеристики шумових випромінювань двох радіопередавачів, які працюють у двох діапазонах частот: 1 — 150...174 МГц; 2 — 450...466 МГц

Аналіз проходження сигналу та шуму через каскади передавачів показує, що рівень шумових випромінювань збільшується зі зростанням коефіцієнта множення частоти (якщо у тракті є помножувач). Так, подвоювач

чи потроювач частоти погіршує відношення сигнал/шум не менш ніж відповідно на 6 і 9 дБ. Викладене аргументує більш жорсткі вимоги стосовно шумових параметрів синтезаторів частоти (що входять до складу передавача) порівняно з тими, які висуваються до виходу радіопередавача без синтезатора.

Тому низкою державних стандартів передбачено таке нормування рівня шумів у вихідному сигналі:

$$10\lg[P_{\text{ш}}(\Delta f_{\text{ш}} = \Delta f_p/P)] \leq -(120 \dots 140) \text{ дБ},$$

якщо розстроювання Δf_p від носійної дорівнює 15%.

Відомі численні приклади порушень умов радіозв'язку через шумові випромінювання. Для уникнення впливу шумових випромінювань робочі частоти станціям можуть призначатися з більшим рознесенням, що, утім, може знизити ефективність використання РЧР.

Припустимі відхилення частоти. Припустиме відхилення частоти визначається як максимально припустиме відхилення середньої частоти смуги частот випромінювання від присвоєної частоти. Припустиме відхилення частоти подається в мільйонних частках або в герцах.

Головне міркування з погляду ефективного використання РЧР полягає в тому, що втрата частотного спектра через нестабільність частоти має становити невелику частину необхідної ширини смуги, використовуваної для зв'язку. Так, обчислюючи значення припустимого відхилення частоти, які дають змогу заощаджувати спектр, беруть за основу $\pm 1\%$ від відповідної ширини смуги частот.

У деяких випадках, наприклад для синхронного радіомовлення (сигнали АЗЕ), припустиме відхилення частоти має бути настільки малим, щоб не виникали завади, зумовлені биттям між зміщеними за частотою носійними. В односмугових радіотелефонних мережах із кількома станціями на одній частоті припустиме відхилення частоти має бути таким, аби уможливити подавлення носійної та забезпечити добру розбірливість мовлення без додаткового підстроювання приймачів.

Існують певні категорії станцій, які з експлуатаційних і адміністративних міркувань не обов'язково мають задовольняти вимоги стосовно суворих допусків на нестабільність частоти. Це стосується, скажімо, рухомих радіолокаційних систем, для яких нині немає потреби адміністративно впроваджувати жорсткі вимоги щодо відхилення частоти, адже з погляду експлуатації взаємні завади зменшуються за рахунок захисних смуг $\Delta f_{\text{зах}}$, що дають змогу здійснити прийнятний розподіл частот у межах присвоєних смуг.

Найбільшу перешкоду при впровадженні жорсткіших допусків на нестабільність частоти створюють економічні труднощі, зумовлені, зокрема, й тим, що сьогодні в експлуатації перебуває багато передавачів, виготовлених у минулому згідно з уже застарілими допусками.

Сучасну ситуацію та відповідні перспективи щодо припустимих відхилень частоти для певних смуг частот, категорій станцій і класів випромінювання характеризує табл. 4.2, де наведено також граничний допуск, зазначений у Рекомендації ITU-R SM.1045 [130].

**Значення припустимих відхилень частоти, досяжні нині
та в найближчому майбутньому**

Смуги частот (із відкиданням нижніх і включенням верхніх меж) та категорії станцій	Теперішній стан	Проектні показники
1	2	3
9...535 кГц		
Фіксовані станції (9...50 кГц)	100 Гц	
Фіксовані станції (50...535 кГц)	50 Гц	20 Гц
Сухопутні берегові станції	100 Гц ⁽¹⁾	
Сухопутні берегові станції — цифровий вибірний виклик (ЦВВ)	10 Гц	
Сухопутні станції повітряної служби	100 Гц	(>200 Вт, 50 Гц)
Рухомі суднові, аварійні станції, станції рятувального засобу	20 Гц ⁽²⁾	
Рухомі суднові станції — ЦВВ	10 Гц	
Рухомі станції повітряного судна	100 Гц	
Сухопутні рухомі станції	100 Гц	20 Гц
Станції радіовизначення	100 Гц	
Радіомовні станції	10 Гц	
535...1606,5 кГц (1605 кГц у Районі 2)		
Радіомовні станції	10 Гц	
1606,5 (1605 кГц у Районі 2)...4000 кГц		
Фіксовані станції	15 Гц	
Фіксовані станції — радіотелефонія основної бічної смуги (ОБС)	20 Гц	
Фіксовані станції — радіотелеграфія ЧМ	10 Гц	
Сухопутні берегові станції, станції повітряної служби, базові станції	50 Гц (<200 Вт, 100 Гц) ⁽¹⁾	50 Гц
Сухопутні берегові станції, базові станції — радіотелефонія ОБС	20 Гц	
Сухопутні берегові станції — ЦВВ	10 Гц	
Сухопутні станції повітряної служби ОБС	10 Гц	
Рухомі суднові станції	20 Гц (A1A, 50 Гц) ⁽²⁾	
Рухомі суднові станції — ЦВВ	10 Гц	
Рухомі станції рятувального засобу	20 Гц	
Рухомі станції повітряного судна, станції радіомаяків EP1RB	100 Гц	50 Гц
Рухомі станції повітряного судна ОБС	20 Гц	
Рухомі сухопутні станції	50 Гц	
Рухомі сухопутні станції — радіотелефонія, радіотелеграф ЧМ	40 Гц	
Станції радіовизначення	10 Гц	
Радіомовні станції	10 Гц	
4...29,7 МГц		
Фіксовані станції	10 Гц (<500 Вт, 20 Гц)	
Фіксовані станції — ОБС	20 Гц	
Фіксовані станції — цифрова телеграфія	10 Гц	
Сухопутні берегові станції	20 Гц ⁽¹⁾	
Сухопутні берегові станції — A1A	10 Гц	
Сухопутні берегові станції — ЦВВ	10 Гц	
Сухопутні станції повітряної служби	50 Гц (<500 Вт, 100 Гц)	
Сухопутні станції повітряної служби ОБС	10 Гц	
Сухопутні базові станції	20 Гц	
Сухопутні базові станції — радіотелефонія ОБС	20 Гц (<500 Вт, 50 Гц)	
Рухомі суднові станції	50 Гц ⁽²⁾⁽³⁾	
Рухомі суднові станції — A1A	10 Гц	

1	2	3
Рухомі суднові станції — ЦВВ	10 Гц	
Рухомі станції рятувального засобу	50 Гц	
Рухомі станції повітряного судна	100 Гц	
Рухомі станції повітряного судна ОБС	20 Гц	
Рухомі/сухопутні рухомі	40 Гц ⁽⁴⁾	
Радіомовні станції	10 Гц ⁽⁵⁾	
Земні станції	20 Гц	
Космічні станції	20 Гц	
29,7...108 МГц		
Фіксовані станції	20 Гц (<50 Вт, 30 Гц)	
Сухопутні станції	20 Гц	
Рухомі станції	20 Гц (портативні <5 Вт, 40 Гц)	12 Гц
Станції радіовизначення	50 Гц	
Радіомовні станції	2 кГц (<50 Вт, 3 кГц)	
Радіомовні станції — ТБ (звук і зображення)	500 Гц (<50 Вт пік. потужн. обвід., 1 кГц)	
Земні станції	20 Гц	
Космічні станції	20 Гц	
108...470 МГц		
Фіксовані станції	5 Гц	
Фіксовані багатопрогонні радіорелейні системи з прямим перетворенням частоти	15 Гц	
Сухопутні берегові станції	5 Гц (<3 Вт, 10 Гц)	
Сухопутні станції повітряної служби	20 Гц	
Сухопутні базові станції	5 Гц	
Рухомі суднові станції	10 Гц	
Рухомі суднові бортові станції поза смугою 156...174 МГц	5 Гц	
Рухомі станції рятувального засобу	50 Гц (156...174 МГц, 10 Гц)	
Рухомі станції повітряного судна	30 Гц (канали 50 кГц, 50 Гц)	10 Гц
Рухомі / сухопутні рухомі станції	5 Гц (портативні <5 Вт, 15 Гц)	5 Гц
Станції радіовизначення	50 Гц ⁽⁶⁾ (108...117,975 МГц,	
Радіомовні станції	20 Гц) ⁽⁶⁾	
Радіомовні станції — ТБ (звук і зображення)	2 кГц 500 Гц (<100 Вт пік. потужн. обвід., 2 кГц; ≤1 Вт <1 Вт пік.)	
Земні станції	потужн. обвід., 5 кГц)	
Космічні станції	20 Гц	
470...960 МГц		
Фіксовані станції	20 Гц	5 Гц
Сухопутні станції	15 Гц	
Рухомі станції	5 Гц	5 Гц
Рухомі станції повітряного судна	5 Гц (≤ 3 Вт, 15 Гц)	
Станції радіовизначення	20 Гц	
Радіомовні станції – ТБ (звук і зображення)	500 Гц ⁽⁶⁾ 500 Гц (< 100 Вт пік. потужн. обвід., 2 кГц; < 1 Вт пік. потужн.)	(≤100 Вт пік. потужн. обвід., 1 кГц)

1	2	3
Земні станції	20 Гц	10 Гц
Космічні станції	20 Гц	
900...1216 МГц		
Станції повітряної радіонавігації, сухопутні, суднові станції	20 Гц ⁽⁷⁾	
Станції повітряної радіонавігації, станції повітряного судна	50 Гц ⁽⁷⁾	
1216...2450 МГц		
Фіксовані станції	50 Гц	15 Гц
Сухопутні станції	20 Гц	
Рухомі станції	20 Гц	
Станції радіовизначення	500 Гц ⁽⁶⁾	
Радіомовні станції	100 Гц	
Земні станції	20 Гц	10 Гц
Космічні станції	20 Гц	
2460 МГц... 10,6 ГГц		
Фіксовані станції	50 Гц	30 Гц
Сухопутні станції	50 Гц	
Рухомі станції	50 Гц	
Станції радіовизначення	1250 Гц ⁽⁶⁾	
Земні станції	50 Гц	10 Гц
Космічні станції	50 Гц	20 Гц
10,6...30 ГГц		
Фіксовані станції	100 Гц	30 Гц
Сухопутні станції	100 Гц	
Рухомі станції	100 Гц	
Станції радіовизначення	5000 Гц ⁽⁶⁾	
Радіомовні станції	100 Гц	
Земні станції	100 Гц	50 Гц
Космічні станції	100 Гц	50 Гц
Понад 30...276 ГГц		
Фіксовані станції	150 Гц	50 Гц
Сухопутні станції	150 Гц	
Рухомі станції	150 Гц	
Станції радіовизначення	5000 Гц ⁽⁶⁾	
Радіомовні станції	100 Гц	
Земні станції	100 Гц	75 Гц
Космічні станції	100 Гц	75 Гц

Примітка. Узяті у круглі дужки цифри, подані як показник степеня, означають відповідний клас випромінювання.

4.1.2. Побічні випромінювання радіопередавачів

Причиною виникнення побічних випромінювань (що створюють радіозавади) є нелінійні процеси у трактах формування високочастотних коливань та в антенно-фідерному тракті радіопередавача. До них належать випромінювання на гармоніках і субгармоніках, а також комбінаційні, інтермодуляційні й паразитні.

Інтенсивність побічних випромінювань залежить від багатьох чинників, таких як діапазон частот передавачів, тип і режим генераторних підсилювальних приладів, способу синтезу частот у збуджувачах тощо.

Випромінювання на гармоніках та паразитні випромінювання є окремими видами заводних випромінювань від передавачів, що створюють

зазвичай найбільш інтенсивні завади. У разі, коли станції мають кілька передавачів, близько розміщених один від одного, можлива також поява додаткових побічних випромінювань за рахунок утворення продукту взаємної модуляції між основними випромінюваннями (інтермодуляційні завади передавачів).

Випромінювання на гармоніках — це випромінювання на частотах $f_m = mf_0$, кратних частоті f_0 основного випромінювання. Головною причиною випромінювань на гармоніках від передавачів є спотворення форм сигналу в радіочастотних підсилювачах потужності. Рівень гармонік може стати неприпустимо великим, якщо у схемі анодного та вихідного кіл виникає резонансне коло на частоті цієї гармоніки.

Рівень гармонік у діапазоні ВЧ можна зменшити орієнтовно до мінус 60 дБ відносно рівня корисного випромінювання, скриставшись простими вихідними колами з фільтром нижніх частот. У передавачі великої потужності можуть знадобитися додаткові настроювані фільтри для зменшення рівня деяких гармонік до значення, меншого від встановленого нині максимально припустимого значення 50 мВт. Потрібно враховувати також вплив розузгодження на частотах гармонік на загасання цих фільтрів. Проектування таких фільтрів має ґрунтуватися на значенні коефіцієнта стоячої хвилі, що для гармонік дорівнює не менш як 10.

Випромінювання на субгармоніках — це випромінювання на частотах $f_m = f_0/m$. Вони характерні для передавачів, в яких частота випромінювання формується з коливань помноженням вихідної частоти.

Комбінаційні випромінювання виникають при формуванні радіосигналів за допомогою нелінійних перетворень вихідних коливань (зазвичай у діапазонних збуджувачах, синтезаторах), коли з опорних частот f_1 і f_2 на виході перетворювача формуються складові $f_{pq} = pf_1 + qf_2$, де $p, q = \pm 1, 2, 3, \dots$. Із цих складових лише одна використовується для утворення основного випромінювання.

Інтермодуляційні випромінювання виникають унаслідок електромагнітної взаємодії двох або більшої кількості випромінювань передавачів, які працюють на близько розташовані антени чи на спільну антену.

Якщо у вихідному каскаді одного (або кожного) передавача існуюватиме нелінійний опір для коливань, які взаємодіють (обох передавачів), то на ньому можуть утворюватися та перевипромінюватися інтермодуляційні складові спектра: $f_{pq} = pf_{p1} + qf_{p2}$, де $p, q = \pm 1, 2, 3, \dots$, а f_{p1} і f_{p2} — робочі частоти передавачів, які «взаємодіють».

Інтермодуляційні складові можуть створюватися передавачами, що мають спільний підсилювач потужності. До спільної антени може бути підімкнено кілька передавачів за допомогою об'єднання сигналів перед посиленням. У такому разі інтермодуляційні складові можуть, напевне, виникати в потужному підсилювачі, якщо в ньому порушено суворі вимоги стосовно лінійності амплітудної характеристики.

Інтенсивність результуючого побічного випромінювання залежить передусім від таких чинників:

- потужностей передавачів, які «взаємодіють»;
- втрат у елементах зв'язку антени;
- втрат перетворення (це відношення потужності завадного випромінювання від зовнішнього джерела до потужності інтермодуляційної складової,

причому обидва коливання вимірюються на виході передавача, що зазнає завад, коли вибірність передавача за частотою не враховується);

- вибірних за частотою властивостей вихідних кіл передавача та антени;
- взаємного віддалення випромінювань, взаємодія яких має негативні наслідки.

Інтремодуляційні складові можуть утворюватися й у разі одного передавача за рахунок інтермодуляції поміж бічними смугами модуляції, якщо амплітудна характеристика тракту підсилювання не є лінійною. Тоді знижується якість сигналу в основних каналах багатоканального тракту. Окрім того, продукти нелінійності можуть потрапляти в сусідні канали інших радіосистем.

Серйозніша проблема постає тоді, коли два чи більше передавачів належать одній станції, причому сигнал від одного передавача пов'язаний із вихідними каскадами іншого.

Найбільш інтенсивними інтермодуляційними складовими є складові третього та вищих непарних порядків: їхній рівень неможливо знизити за допомогою фільтрування, оскільки ці складові близькі до спектра частот корисних сигналів. Частоти складових третього порядку утворюються з основних частот двох чи більшої кількості розміщених на одній станції передавачів.

Може постати потреба в розгляді інтермодуляційних складових вищих порядків, якщо на одній станції розміщено багато передавачів.

Примітка. У Рекомендаціях ITU-R SM.1134 [131] і SM.1072 [132] наведено розрахунок інтермодуляційних завад у передавачах сухопутних рухомих служб та подано поради щодо їх зниження.

Кількість інтермодуляційних складових швидко збільшується зі зростанням їхнього порядку $|p| + |q|$. Ще більше інтермодуляційних складових утворюється при взаємодії двох передавачів, потужність яких зі зростанням порядку інтермодуляційних випромінювань знижується.

Паразитні випромінювання. Паразитні випромінювання випадково утворюються на частотах, які не залежать ні від носійної частоти випромінювання, ні від частот коливань, що виникають у процесі утворення носійної. Із появою паразитних коливань, як правило, порушується нормальна робота радіопередавача, тобто він перестає виконувати свої основні функції.

Частоти паразитних коливань, по суті, не пов'язані з частотами вхідних сигналів, що надходять на вхід тракту радіочастоти передавача. Наприклад, причиною виникнення паразитних коливань на виході передавача, як правило, є самозбудження в деякому каскаді тракту радіочастоти або у тракті в цілому. Узагальнених правил подавлення цих коливань запропонувати неможливо, а тому в кожному окремому випадку доводиться усувати причину їх виникнення.

Рівень побічних випромінювань зазвичай подається відносно основного випромінювання в децибелах. При цьому нормується верхня межа рівнів.

Значення послаблення (відношення середньої потужності в межах необхідної ширини смуги до середньої потужності відповідної складової побічного випромінювання) та абсолютні рівні середньої потужності, застосовувані для обчислення потужності дозволеного максимального рівня побічного випромінювання (як рівня середньої потужності будь-якої складової побічного випромінювання, що підводиться від передавача до фідера антени), коли йдеться про радіоапаратуру, установлену до 01.01.2003 р., наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Значення послаблення* та абсолютні рівні середньої потужності, на базі яких обчислюють потужність дозволеного максимального рівня побічного випромінювання для використання в радіоапаратурі, установленій до 01.01.2003 р.

Смуга частот, що містить присвоєння (із відкиданням нижньої межі та включенням верхньої)	Послаблення та абсолютний рівень середньої потужності
9 кГц...30 МГц	40 дБ, 50 мВт
30 МГц...235 МГц: — середня потужність понад 25 Вт — середня потужність 25 Вт або менша	60 дБ, 1 мВт; 40 дБ, 25 мкВт
235 МГц...960 МГц: — середня потужність понад 25 Вт — середня потужність 25 Вт або менша	60 дБ, 20 мВт; 40 дБ, 25 мкВт
960 МГц...17,7 ГГц: — середня потужність понад 10 Вт — середня потужність 10 Вт або менша	50 дБ, 100 мВт; 100 мкВт
Понад 17,7 ГГц	Необхідно використовувати найменші досяжні значення величин
* Для будь-якої складової побічного випромінювання його послаблення має бути принаймні таким, як визначено в таблиці, водночас воно має не перевищувати наведеного абсолютного значення рівнів середньої потужності.	

Зауважимо, що значення потужності побічних випромінювань мають бути якомога нижчими, найменшими з усіх, яких практично можна досягти.

Наведені норми не стосуються позасмугових випромінювань (а також побічних випромінювань радіолокаційних станцій). Побічні випромінювання від будь-якої частини устаткування, окрім самої антени та її фідера, не повинні чинити більшого впливу, аніж той, який міг би виникнути, коли б до антенної системи підводилася максимально припустима потужність на частоті цього побічного випромінювання.

Проте ці рівні не застосовуються до станцій аварійного радіомаяка — показчика місця біди (EPIRB), до аварійних приводних передавачів, аварійних суднових передавачів, передавачів рятувальних шлюпок, станцій, встановлених на рятувальних засобах, або до морських передавачів, коли вони використовуються в аварійних ситуаціях.

Із технічних чи експлуатаційних міркувань для захисту деяких служб (таких як пасивні служби та служба безпеки) у певних смугах частот можуть застосовуватися й жорсткіші норми, аніж та, які наведено в табл. 4.3. Рівні, застосовувані для захисту таких служб, мають бути узгоджені на відповідній Всесвітній радіоконференції. Окрім того, більш жорсткі норми можуть бути встановлені за спеціальною угодою між зацікавленими адміністраціями.

Додатково спеціальний розгляд побічних випромінювань може знадобитися для захисту служб безпеки та радіоастрономії, а також космічних служб, що використовують пасивні датчики. Інформацію щодо завад, шкідливих для радіоастрономії, супутників дослідження Землі й метеорологічного пасивного зондування, разом із рекомендаціями стосовно методів вимірювання побічних випромінювань наведено в останній редакції Рекомендації ITU-R SM.329 [133].

Метод ефективної ізотропно випромінюваної потужності (ЕІВП), визначений у Рекомендації ITU-R SM.329 [133], має використовуватися в тому разі, коли неможливо точно виміряти потужність, яка підводиться до фідера

антени (наприклад, радарів), або для конкретних застосувань, коли антену призначено для забезпечення значного послаблення на побічних частотах.

Норми побічних випромінювань для передавачів, установлених після 1 січня 2003 року, наведено в табл. 4.4 (діапазон вимірювання частот побічних випромінювань становить від 9 кГц до 110 ГГц).

Таблиця 4.4

**Норми побічних випромінювань для передавачів,
установлених після 1 січня 2003 року**

Категорія служби або тип обладнання	Послаблення, дБ, нижче від потужності, підведеної до фідера антени
Усі служби, окрім тих, які перелічено далі	$43 + 10\lg P$, або 70 дБс, залежно від того, яка межа менш строга
Космічні служби (земні станції)	$43 + 10\lg P$, або 60 дБс, залежно від того, яка межа менш строга
Космічні служби (космічні станції)	$43 + 10\lg P$, або 60 дБс, залежно від того, яка межа менш строга
Радіовизначення	$43 + 10\lg(P_{EP})$ або 60 дБ, залежно від того, яка межа менш строга
Телевізійне мовлення	$46 + 10\lg P$, або 60 дБс, залежно від того, яка межа менш строга без перевищення абсолютного рівня середньої потужності в 1 мВт для станцій ДВЧ або 12 мВт для станцій НВЧ. Проте в окремих випадках може знадобитися більше послаблення
ЧМ радіомовлення	$46 + 10\lg P$, або 70 дБс, залежно від того, яка межа менш строга, причому перевищення абсолютного рівня середньої потужності в 1 мВт неприпустиме
Радіомовлення на СЧ/ВЧ	50 дБс, причому перевищення абсолютного рівня середньої потужності в 50 мВт неприпустиме
ОБС від рухомих станцій	43 дБ, нижче за P_{EP}
Аматорські служби, які працюють на частотах нижчих, за 30 МГц (включаючи передавання на ОБС)	$43 + 10\lg(P_{EP})$, або 50 дБ, залежно від того, яка межа менш строга
Служби, які використовують частоти, нижчі за 30 МГц, за винятком космічних служб, служб радіовизначення, радіомовлення та служб із передаванням на ОБС	$43 + 10\lg X$, або 60 дБс, залежно від того, яка межа менш строга, де $X = P_{EP}$ для модуляції ОБС; $X = P$ для іншої модуляції
Малопотужна радіоапаратура	$56 + 10\lg P$, або 40 дБс, залежно від того, яка межа менш строга
Аварійні передавачі	Немає обмежень

Примітки до табл. 4.3 і 4.4

1. При перевірці на відповідність із положеннями таблиці необхідно переконатися, що смуга вимірювального обладнання достатньо широка для того, аби врахувати всі істотні складові вимірюваного побічного випромінювання.

2. Для рухомих передавачів, що працюють на частотах, нижчих за 30 МГц, будь-який побічний елемент випромінювання повинен мати послаблення щонайменше на 40 дБ і не перевищувати значення 200 мВт, але потрібно вжити всіх заходів для досягнення рівня 50 мВт там, де це можливо.

3. Для передавачів із середньою потужністю понад 50 кВт, які працюють на одній чи двох частотах у смузі, що охоплює не менш ніж октаву, опускати рівень нижче за 50 мВт не обов'язково, хоча забезпечити мінімальне послаблення в 60 дБ необхідно.

4. Для переносної портативної апаратури із середньою потужністю, нижчою за 5 Вт, послаблення має становити не менш ніж 30 дБ, проте слід вживати всіх заходів задля того, аби досягти послаблення в 40 дБ.

5. За відсутності шкідливих завад адміністрації можуть приймати рівень у 10 мВт.

6. Коли кілька передавачів, що працюють на сусідніх частотах, під'єднано до спільної антени або до близько розміщених антен, необхідно вдаватися до всіх належних заходів, аби досягти зазначених рівнів.

7. Оскільки ці рівні можуть не забезпечити потрібного захисту приймальних станцій радіоастрономічної та космічної служб, то в кожному окремому випадку є сенс розглядати жорсткіші норми з урахуванням географічного розташування відповідних станцій.

8. Ці рівні не застосовні до систем, в яких використовуються методи цифрової модуляції, але можуть розглядатися як орієнтовні. Значення рівнів для цих систем буде передбачено відповідними рекомендаціями МСЕ-Р, які ще належить розробити.

9. Ці рівні не застосовні до станцій космічних служб, проте їхні побічні випромінювання потрібно зменшувати до найнижчих можливих рівнів, зумовлених технічними й економічними вимогами до обладнання. Граничні значення для цих систем буде передбачено відповідними рекомендаціями МСЕ-Р, які ще належить розробити.

P — середня потужність (у ватах), підведена до фідера антени. Якщо використовується пакетний сеанс зв'язку, то середня потужність ***P*** і середня потужність будь-яких побічних випромінювань вимірюються з використанням потужності, усередненої за часом сеансу.

PEP — пікова потужність обвідної (у ватах), подана до фідера антени.

дБс — децибели відносно потужності немодульованої носійної випромінювання. За відсутності носійної, наприклад у деяких цифрових схемах модуляції, коли носійна є недоступна для вимірювання, еквівалент контрольного рівня до **дБс** відповідає децибелам відносно середньої потужності ***P***.

10. Межі на побічні випромінювання для всіх космічних служб установлено в контрольній смузі частот у 4 кГц.

11. Для аналогових телевізійних передач рівень середньої потужності визначається для певної модуляції відеосигналу. Цей відеосигнал потрібно вибирати таким чином, аби максимальний рівень середньої потужності (наприклад, при рівні перекриття відеосигналу для від'ємно модульованих телевізійних систем) подавався до фідера антени.

12. Усі класи випромінювання, що використовують ОБС, включено до категорії «ОБС».

13. **Малопотужні радіопристрої** — це пристрої, які мають максимальну вихідну потужність менш як 100 мВт, і призначені для забезпечення зв'язку на малій відстані або здійснення управління; таке обладнання взагалі звільнено від індивідуального ліцензування.

14. Для систем радіовизначення (радарів) загасання побічних випромінювань (у дБ) має бути визначено для рівнів випромінювань, а не для фідера антени.

15. У деяких випадках цифрової модуляції (включаючи й цифрове радіомовлення), широкосмугових систем, імпульсної модуляції та вузькосмугових потужних передавачів для всіх категорій служб можуть виникати труднощі, коли йтиметься про виконання вимоги щодо меж, які мають становити $\pm 250\%$ від ширини необхідної смуги частот.

16. Земні станції радіоаматорської супутникової служби, які працюють на частотах, нижчих за 30 МГц, належать до категорії «Радіоаматорські супутникові служби, що працюють на частотах, нижчих за 30 МГц (включаючи передавачі на ОБС)».

17. Межі побічних випромінювань не поширюються на космічні станції служби космічних досліджень, призначені для роботи в далекому космосі.

Для трьох основних типів імпульсної модуляції радіолокаторів, використовуваних для радіонавігації, радіолокації, виявлення, супроводження та виконання інших функцій радіовизначення контрольна ширина смуги частот має бути:

- для радарів із фіксованою частотою та випромінюванням, що не є імпульсно кодованим, — одиниця, поділена на тривалість радіолокаційного імпульсу в секундах (наприклад, якщо тривалість радіолокаційного імпульсу становить 1 мкс, то контрольна ширина смуги частот дорівнює $1/(1\text{ мкс}) = 1\text{ МГц}$);

- для радарів із фіксованою частотою та імпульсно кодованим випромінюванням — одиниця, поділена на тривалість блока фазового кодування в секундах (наприклад, якщо тривалість такого блока становить 2 мкс, то контрольна ширина смуги частот дорівнює $1/(2\text{ мкс}) = 500\text{ кГц}$);

- для частотно модульованого (ЧМ) або ЛЧМ випромінювання радара — корінь квадратний із відношення ширини смуги частот РЛС у мегагерцах до тривалості імпульсу в секун-

дах (наприклад, якщо ЧМ здійснюється в діапазоні частот 1250...1280 МГц або в 30 МГц за тривалості імпульсу у 10 мкс, то контрольна ширина смуги частот становить $(30 \text{ МГц}/10 \text{ мкс})^{1/2} = 1,73 \text{ МГц}$).

Для радіолокаційних систем, стосовно яких не існує прийнятних методів вимірювання, потрібно забезпечити найнижчу практично досяжну потужність побічного випромінювання.

Рівні побічного випромінювання визначено в таких контрольних смугах частот:

- 1 кГц — 9...150 кГц;
- 10 кГц — 150 кГц...30 МГц;
- 100 кГц — 30 МГц та 1 ГГц;
- 1 МГц — понад 1 ГГц.

Контрольна ширина смуги частот усіх побічних випромінювань для спеціального випадку космічних служб має становити 4 кГц.

З метою встановлення меж усі випромінювання, зокрема й гармонічні, продукти інтермодуляції та перетворення частот, а також паразитні випромінювання, які спостерігаються на частотах, віддалених від центральної частоти випромінювання не менш як на $\pm 250\%$ від необхідної ширини смуги частот, розглядатимуться здебільшого як побічні випромінювання.

Проте цей розподіл частот може залежати від типу використовуваної модуляції, максимальної швидкості передавання символів у разі цифрової модуляції, типу передавача та аспектів координації частот. Наприклад, коли йдеться про цифрову систему модуляції (включаючи й цифрове радіомовлення), широкосмугову систему, імпульсну систему модуляції та вузькосмугові потужні передавачі, у разі рознесення за частотою може знадобитися коефіцієнт, відмінний від $\pm 250\%$.

Приклади застосування виразу $43 + 10\lg P$ для обчислення вимог щодо послаблення наводяться далі.

Приклад 1. Сухопутний рухомий передавач із будь-яким значенням необхідної ширини смуги частот має відповідати послабленню побічного випромінювання на $43 + 10\lg P$ або на 70 дБс — залежно від того, яка межа менш строга. Для вимірювання побічних випромінювань у частотному діапазоні між 30 і 1000 МГц Рекомендація ITU-R SM.329-7 [133] передбачає використання контрольної ширини смуги частот 100 кГц. Для інших частотних діапазонів при вимірюваннях мають використовуватися відповідні значення контрольної ширини смуги частот.

У разі виміряної сумарної середньої потужності, що дорівнює 10 Вт, маємо:

- послаблення відносно сумарної середньої потужності дорівнює $43 + 10\lg 10 = 53 \text{ дБс}$;

- 53 дБс — межа менш строга, ніж 70 дБс, тому використовується значення 53 дБс.

Отже, побічні випромінювання не повинні перевищувати 53 дБс (або, якщо виконати перетворення до абсолютного рівня, — значення $10 \text{ дБВт} - 53 \text{ дБс} = -43 \text{ дБВт}$) у смугі частот із контрольною шириною 100 кГц.

Коли йдеться про виміряну сумарну середню потужність, яка дорівнює 1000 Вт, дістаємо:

- послаблення відносно сумарної середньої потужності становить $43 + 10\lg 1000 = 73 \text{ дБс}$;

● 73 дБс — межа більш строга, ніж 70 дБс, тому використовується значення 70 дБс.

Таким чином, побічні випромінювання не повинні перевищувати 70 дБс (або, якщо виконати перетворення до абсолютного рівня, — значення $30 \text{ дБВт} - 70 \text{ дБс} = -40 \text{ дБВт}$) у смузі частот із контрольною шириною 100 кГц.

Приклад 2. Передавач космічної служби з будь-яким значенням необхідної ширини смуги частот має відповідати послабленню побічного випромінювання на $43 + 10 \lg P$ або 60 дБс — залежно від того, яка межа менш строга. Для вимірювання побічних випромінювань на будь-якій частоті згідно з табл. 4.5 рекомендовано застосовувати контрольну смугу частот 4 кГц. У разі вимірної сумарної середньої потужності, що дорівнює 20 Вт, дістаємо:

● послаблення відносно сумарної середньої потужності становить $43 + 10 \lg 20 = 56 \text{ дБс}$;

● 56 дБс — межа менш строга, ніж 60 дБс, тому використовується значення 56 дБс.

Отже, побічні випромінювання не повинні перевищувати 56 дБс (або, якщо виконати перетворення до абсолютного рівня, — значення $13 \text{ дБВт} - 56 \text{ дБс} = -43 \text{ дБВт}$) у смузі частот із контрольною шириною 4 кГц.

4.1.3. Індустріальні заводи передавача та сприйнятливість передавача до індустріальних заводів

Особливу групу характеристик і параметрів радіопередавача, що впливають на ЕМС РЕЗ, становлять його індустріальні радіозаводи. До них належать усі випромінювання від обладнання, що виникають поза передавальною антеною, наприклад від системи запалювання агрегатів електроживлення або високочастотні коливання від деяких вузлів передавача, які потрапляють до інших РЕЗ по колах живлення дистанційного управління, сигналізації тощо.

Рівні індустріальних радіозаводів, створюваних передавачами та їхнім обладнанням, установлюються разом із радіоприймачами, нормуються. Так, напруженість E електромагнітного поля, створювана обладнанням радіопередавача на відстані 1 м, не повинна перевищувати наведених далі значень у таких смугах частот:

150 кГц ... 30 МГц — $E = 32 - 7,87 \lg f / 0,15 \text{ дБмкВ/м}$;

30 ... 100 МГц — $E = 32 - 13,39 \lg f / 30 \text{ дБмкВ/м}$;

100 ... 1000 МГц — $E = 25 + 20 \lg f / 100 \text{ дБмкВ/м}$.

Тривалий час вважалося, що рецепторами індустріальних заводів є лише радіоприймачі. Проте практика показала, що й радіопередавачі можуть «сприймати» індустріальні заводи.

Під сприйнятливістю розуміється нездатність РЕЗ працювати без погіршення показників під час дії заводів через різні входи: антену, технологічні отвори, кола живлення, заземлення, комутації тощо. Наприклад, заводи, що сприймаються через антену, викликають інтермодуляційні випромінювання (див. раніше).

Індустріальні радіозаводи, впливаючи на передавач, можуть збільшити рівень шумового радіовипромінювання, розширити смугу частот, яку займає радіосигнал, спотворити сигнал, що передається, і т. ін. Для уникнення

такого впливу в радіопередавачі захищають передусім кола його живлення (за допомогою фільтрів). Тому параметри сприйнятливості радіопередавачів до індустриальних заводів, які випромінюються та поширюються по проводах, стандартизовано (рис. 4.6).

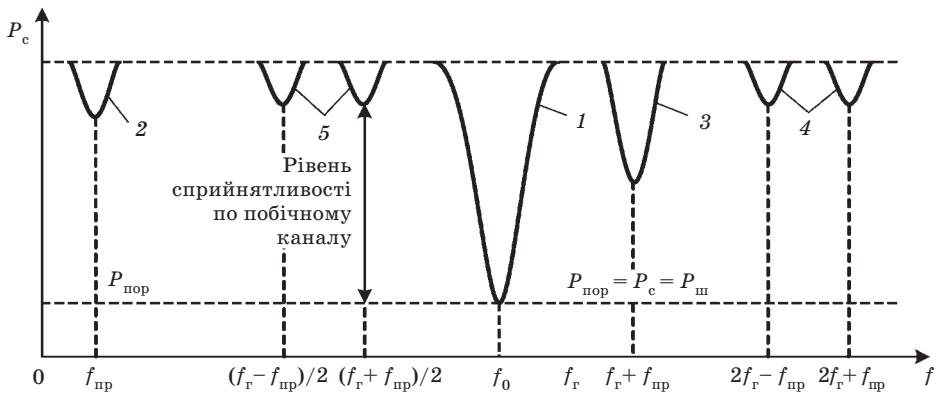


Рис. 4.6. Характеристика сприйнятливості до заводів супергетеродина приймача: 1 — основний канал приймання на частоті настроювання $f_0 = f_r - f_{пр}$; 2 — побічний канал приймання на проміжній частоті $f_{пр}$; 3 — побічний канал приймання на дзеркальній частоті $f_r + f_{пр}$; 4 — побічні канали приймання на комбінаційних частотах $2f_r \pm f_{пр}$; 5 — побічні канали приймання на субгармоніках частоти настроювання приймача $0,5(f_r - f_{пр})$ та дзеркальної частоти $0,5(f_r + f_{пр})$.

Наприклад, напруга U на проводах живлення, управління, комутації та заземлення РЕЗ не повинна перевищувати наведених далі значень у таких смугах частот:

- 150...500 кГц — $U = 50 - 19,14 \lg f / 0,15$ дБмкВ/м;
- 500 кГц...6 МГц — $U = 40 - 32,97 \lg f / 0,5$ дБмкВ/м;
- 6...100 МГц — $U = 26$ дБмкВ.

Стандартами встановлено норми щодо рівня індустриальних заводів на клемах джерел живлення станцій рухомих служб.

4.2. Параметри радіоприймальних пристроїв, що впливають на ефективність використання радіочастотного спектра

Радіоприймальні пристрої (РПП) призначено для виділення сигналів із радіовипромінювань. Ідеальний з погляду ЕМС радіоприймач повинен мати лише один *основний канал приймання* (див. рис. 4.6) — смугу частот, яка міститься у смузі пропускання приймача й призначена для приймання основного випромінювання потрібної радіостанції [8; 57]. У реальних приймачах окрім основного існують також небажані неосновні канали приймання, розміщені за межами смуги основного каналу в широкому діапазоні частот (наприклад, канали 2–5 на рис. 4.6).

Через основний і неосновні канали на вихід приймача можуть надходити завади, що погіршують ЕМС РЕЗ. *Сприйнятливість приймача до радіозаводів* оцінюється щодо випромінюваних заводів, які завдають впливу через антену РПП, а також поза нею, наприклад через корпус по каналах живлення, управління тощо.

Сприйнятливість — це міра здатності радіоприймача реагувати на ненавмисні завади, яка залежить від його чутливості та вибірності по основному та неосновних каналах приймання.

Неосновні канали приймання завадних радіосигналів поділяються на **побічні** та **позасмугові**. До побічних належать небажані канали приймання, номінальні частоти яких мають фіксоване значення для даного приймача при його фіксованому настроюванні на частоту сигналу f_0 . Розміщення основного та побічних каналів приймання на характеристиці сприйнятливості супергетеродинного приймача ілюструє рис. 4.6.

На відміну від побічних, небажані позасмугові канали приймання з'являються на частотах, які при фіксованій частоті настроювання приймача можуть мати різні значення залежно від частоти завадного сигналу. Частота радіозавади при цьому не збігається з частотами основного чи побічних каналів приймання, а її рівень може досягати таких значень, при яких у приймачі виникають нелінійні ефекти блокування, перехресної модуляції та інтермодуляції.

Вибірні властивості приймальної антени та приймача дають змогу відрізнити й виокремлювати корисний радіосигнал на тлі завадних випромінювань за рахунок різниці в напрямі приходу радіохвиль і/або їх поляризації, за займаною смугою частот, структурою сигналів тощо. Корисний сигнал за частотною ознакою виокремлюється за рахунок частотної вибірності приймача, яка характеризує його здатність послаблювати завади, які мають частоту, відмінну від частоти настроювання. Розрізняють односигнальну та багатосигнальну частотну вибірність приймача. За малих рівнів корисного та завадного сигналів радіочастотний тракт приймача працює в лінійному режимі, а його вибірні властивості характеризує **односигнальна частотна вибірність**. Вона визначається відношенням рівня вхідного сигналу на заданій частоті до його заданого рівня на частоті настроювання за незмінного рівня сигналу на виході радіоприймача та вимірюється за допомогою одного сигналу, що подається на вхід приймача, із рівнем, що не викликає нелінійних ефектів у тракті приймання [8; 57]. За допомогою методу односигнальної вибірності вимірюють параметри (смугу пропускання, коефіцієнт прямокутності тощо) основного та побічних каналів приймання під час роботи приймача в лінійному чи близькому до лінійного режимі.

У реальних умовах на вхід радіоприймача разом із корисним можуть надходити й інтенсивні завадні радіосигнали від кількох радіостанцій, що призводить до появи нелінійних ефектів у тракті приймання. У такому разі оцінювання ЕМС радіоприймача та вимірювання його параметрів (зокрема, вибірності) потрібно здійснювати тоді, коли на вході діють одночасно два (або три) коливання, що відповідають сигналу та завадам.

Багатосигнальна вибірність радіоприймача визначається відношенням рівнів сигналів, які одночасно надходять на його вхід на одній чи кількох заданих частотах і на частоті настроювання приймача при заданому відношенні на його вході сумарної потужності складових завади до потужності корисного сигналу [8; 57]. Вона характеризує здатність приймача послаблювати дію завад залежно від їхнього розстроювання за присутності корисного радіосигналу. Багатосигнальні методи вимірювань параметрів приймача дають змогу повніше оцінити його роботу під час дії сильних завадних сигналів, вплив яких призводить до появи нелінійних ефектів блокування,

перехресної модуляції та інтермодуляції, тобто до появи відповідних небажаних позасмугових каналів приймання.

4.2.1. Характеристики та параметри радіоприймального пристрою, що зазнає впливу одним коливанням

За допомогою односигнальних методів оцінюють параметри основного та побічних каналів приймання, що впливають на ЕМС радіоприймачів, коли вони працюють у лінійному режимі. Основний канал приймання займає смугу частот, яка міститься у смузі пропускання приймача й призначена для приймання корисного радіосигналу [57]. До параметрів основного каналу належать чутливість, динамічний діапазон, частотна вибірність, смуга пропускання, коефіцієнт прямокутності, частота настроювання, нестабільність частоти гетеродина, відношення сигнал/шум на виході. Побічні канали на проміжній дзеркальній частоті, на комбінаційних частотах і субгармоніках характеризуються рівнем сприйнятливості та частотою.

Чутливість радіоприймача характеризує його здатність забезпечувати приймання корисного радіосигналу на тлі власних шумів за відсутності радіозавад та відтворювати цей радіосигнал на виході із заданою якістю. Кількісно цей параметр визначається мінімально необхідною потужністю (або ЕРС) сигналу в антені, за якої забезпечується номінальне значення напруги або потужності на виході приймача при заданих параметрах модуляції радіосигналу та відношенні сигнал/шум на виході [2; 4]. Наприклад, при вимірюванні чутливості мовних радіоприймачів, призначених для приймання АМ сигналів, глибина модуляції радіосигналу встановлюється такою, що дорівнює 30% (коефіцієнт модуляції $m = 0,3$), а частота модуляції береться 1кГц [4]. При цьому потужність вихідного сигналу приймача становить близько 10% від свого номінального значення ($P_{\text{вих}} = m^2 P_{\text{ном}} \approx 0,1 P_{\text{ном}}$).

Розрізняють *порогову та реальну* чутливість радіоприймача.

Порогова чутливість приймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході за однакових рівнів корисного сигналу й власних шумів на його виході, тобто коли відношення сигнал/шум за потужністю на виході $Q_{\text{вих}} = P_c / P_{\text{ш}} = 1$ (0 дБ). За поріг сприйнятливості приймача до завадних випромінювань в основному каналі приймання також береться рівень власних шумів, тобто його порогова чутливість $P_{\text{пор}}$ (див. рис. 4.6) [8; 57].

Реальна чутливість радіоприймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході, за якого забезпечується номінальна потужність корисного сигналу на його виході та задане перевищення рівня потужності сигналу над рівнем шумів, тобто відношення сигнал/шум на виході має бути $Q_{\text{вих}} = P_c / P_{\text{ш}} > 1$. Наприклад, для мовних АМ приймачів у діапазонах ДХ, СХ та КХ вихідне відношення сигнал/шум має бути не менш як 20 дБ, а в діапазоні УКХ при частотній модуляції носійної — не менш як 50 дБ [57].

Реальну чутливість приймача, обмежену його власними шумами, можна обчислити за формулою [5]

$$P_{c \text{ min}} = k_B T_0 B_{\text{ш}} (T_a / T_0 + N_{\text{ш}} - 1) Q_{\text{вих}}, \quad (4.2)$$

де $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ — стала Больцмана, Дж/К; T_0 — абсолютна температура навколишнього середовища, К; T_a — ефективна шумова температура антени, К; $B_{\text{ш}}$ — ширина ефективної смуги шумів приймача, Гц; $N_{\text{ш}}$ — коефіцієнт шуму приймача; $Q_{\text{вих}}$ — потрібне відношення сигнал/шум на виході.

У діапазоні 30 ... 120 МГц при кімнатній температурі ($T_0 = 293$ К) відношення $T_a/T_0 = 1,8 \cdot 10^6/f^3$, де f — відповідна частота, МГц [8]. На вищих частотах ($f > 120$ МГц) відношення $T_a/T_0 \approx 1$. У такому разі реальна чутливість

$$P_{c \min} = k_B T_0 B_{\text{ш}} N_{\text{ш}} Q_{\text{вих}}, \quad (4.3)$$

а порогова чутливість (і поріг сприйнятливості)

$$P_{c \text{ пор}} = k_B T_0 B_{\text{ш}} N_{\text{ш}}. \quad (4.4)$$

Чутливість приймачів залежно від їхнього призначення змінюється в широких межах. Наприклад, чутливість радіомовних АМ приймачів (коли відношення сигнал/шум на виході не менш як 20 дБ) залежно від їхнього класу якості коливається від 50 до 300 мкВ, а в діапазоні УКХ — від 2 до 15 мкВ [57].

Мірою лінійності основного каналу приймання за відсутності радіозавад є його *динамічний діапазон* $D_{o.k.}$, який кількісно дорівнює відношенню максимальної амплітуди радіосигналу $E_{\max}(f_0)$ на вході приймача, при якій нелінійні спотворення $K_{н.с}$ дорівнюють припустимому значенню, до його мінімальної амплітуди $E_{\min}(f_0)$, при якій $Q_{\text{вих}}$ — відношення сигнал/шум на виході — дорівнює заданому значенню [8]:

$$D_{o.k.}(f_0) = E_{\max}(f_0)/E_{\min}(f_0) \text{ при } K_{н.с} \cdot Q_{\text{вих}} = \text{const.}$$

Динамічний діапазон характеризує припустимі межі змінювання амплітуди вхідного радіосигналу, усередині яких забезпечується необхідна якість вихідного сигналу. Максимальна амплітуда сигналу обмежується зверху нелінійністю вольт-амперної характеристики активних елементів (діодів, транзисторів і т. ін.) підсилювальних і перетворювальних каскадів приймача. Мінімальна амплітуда вхідного радіосигналу обмежується знизу рівнем власних шумів приймача, тобто його чутливістю. Динамічний діапазон приймачів залежить від їхнього призначення та класу і може становити 100 ... 120 дБ та більше.

Частотна вибірність радіоприймача уможливило виокремлення корисного сигналу на тлі завадних радіовипромінювань завдяки відмінностям у їхніх спектральних характеристиках. Графік односигнальної частотної вибірності (рис. 4.7) характеризує здатність приймача послаблювати дію завади залежно від значення Δf відхилення її частоти відносно частоти настроювання приймача (частоти сигналу) f_0 . На графіку по осі абсцис відкладають значення розстроювання (Δf), а по осі ординат — значення послаблення $S(\Delta f)$, дБ,

$$S(\Delta f) = 20 \lg [K(f_0)/K(\Delta f)], \quad (4.5)$$

де $K(f_0)$, $K(\Delta f)$ — коефіцієнт підсилення приймача відповідно на частоті f_0 настроювання та при розстроюванні на Δf .

Основний канал приймання РПП. Смугу пропускання приймача по основному каналу B_3 обмежено двома частотами (f_1 і f_2 на рис. 4.7), на яких послаблення рівня сигналу дорівнює 3 дБ.

Ширину смуги пропускання B_3 зазвичай обирають дорівнюючій необхідній ширині частот B_n із урахуванням припустимого відхилення частоти радіолінії $\Delta f_{p.l.}$ в обидва боки від присвоєної частоти:

$$B_3 = B_n + 2 \Delta f_{p.l.}, \quad (4.6)$$

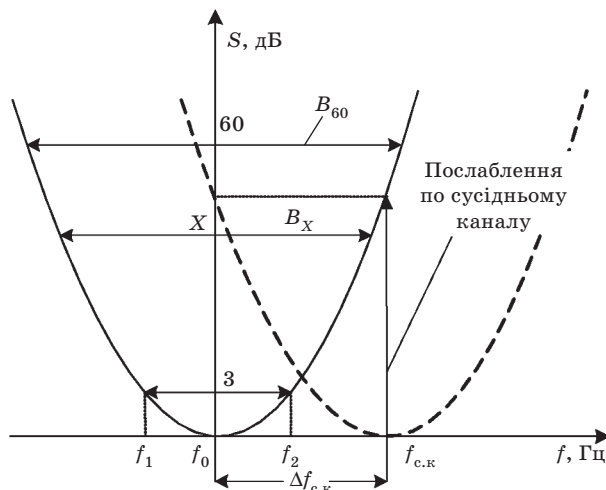


Рис. 4.7. Характеристика односигнальної частотної вибірності приймача

де частотне розузгодження

$$\Delta f_{\text{р.л}} = \Delta f_{\text{пр}} + \Delta f_{\text{пд}} \quad (4.7)$$

залежить від нестабільності частоти настроювання відповідно $f_{\text{пд}}$ передавача і $f_{\text{пр}}$ приймача [57].

Ідеальна характеристика вибірності, на відміну від зображеної на рис. 4.7, має бути прямокутною. За такої форми характеристики складові спектра сигналу в межах смуги пропускання B_3 надходять на вихід приймача без спотворень та послаблення ($S = 0$ дБ), а шуми й завади за межами смуги повністю подавляються ($S = \infty$). Уявлення про ступінь близькості реальної (див. рис. 4.7) та ідеальної прямокутної характеристик вибірності дає коефіцієнт прямокутності K_X , що дорівнює відношенню ширини смуги частот B_X на рівні X дБ до ширини смуги пропускання B_3 на рівні 3 дБ:

$$K_X = B_X / B_3. \quad (4.8)$$

Для радіомовних приймачів $X = 60$ дБ, для приймачів фіксованої служби $X = 30$ дБ. У разі ідеальної характеристики вибірності коефіцієнт прямокутності $K_X = 1$. У реальних приймачах вибірність вважається доброю при $K_{60} = 2 \dots 4$ і незадовільною при $K_{60} > 8$ [8; 57].

Недостатня крутість схилів характеристики вибірності приймача призводить до появи в основному каналі приймання завад від радіопередавачів, що працюють на частотах сусідніх каналів, зміщених на $\pm \Delta f_{\text{с.к}}$ відносно частоти f_0 основного каналу. (На рис. 4.7 пунктирною лінією зображено характеристику вибірності одного із сусідніх каналів на частоті $f_{\text{с.к}}$).

Послаблення завад, що проникають із сусідніх каналів, нормується. При АМ мовленні у діапазоні ДХ, СХ носійні сусідніх за частотою каналів рознесено на 9 кГц, що відповідає ширині необхідної смуги частоти B_H із урахуванням припустимого відхилення присвоєної частоти в обидва боки від її номінального значення.

Установлені для побутових радіомовних приймачів норми вимагають, щоб односигнальна вибірність по сусідньому каналу, яка визначає послаблення завади, при розстроюванні $f_{\text{с.к}} = \pm 9$ кГц становила не менш як 26...56 дБ — залежно від класу приймача [57].

Нехай $S(\Delta f)$ — послаблення, дБ, сигналу при розстроюванні Δf відносно центральної частоти. Тоді математичну модель характеристики частотної вибірності можна подати у вигляді кусково-лінійної функції від логарифма розстроювання за частотою [8]:

$$S(\Delta f) = S(f_i) + V_i \lg(\Delta f / \Delta f_i) \quad (4.9)$$

де Δf_i і Δf_{i+1} — розстроювання на початку та в кінці i -ї ділянки апроксимації характеристики вибірності, Гц; де V_i — нахил i -ї ділянки характеристики вибірності, дБ/дек,

$$V_i = S(\Delta f_{i+1}) - S(\Delta f_i) / \lg(\Delta f_{i+1} / \Delta f_i). \quad (4.10)$$

У разі, коли відомі (або виміряні) смуги частот на рівнях 3, X і 60 дБ (B_3 , B_X , B_{60} на рис. 4.7), відповідна модель характеристики вибірності приймача, наведена на рис. 4.8, містить три ділянки лінійної апроксимації: 0, 1 і 2.

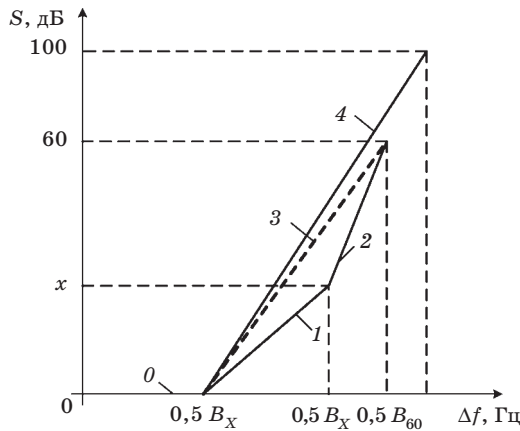


Рис. 4.8. Апроксимація характеристики частотної вибірності приймача

Нахил характеристики на ділянках 1 і 2 подається виразами:

$$V_1 = S(0,5B_3) / \lg(B_X / B_3) = X / \lg K_X; \quad (4.11)$$

$$V_2 = [S(0,5B_{60}) - S(0,5B_X)] / \lg(B_{60} / B_X) = (60 - X) / \lg(K_{60} / K_X),$$

де K_X і K_{60} — відповідний коефіцієнт прямокутності характеристики вибірності.

Зокрема, коли коефіцієнт K_{60} прямокутності характеристики відомий, її модель, яка складається із двох ділянок апроксимації (0 і 3 на рис. 4.8), можна з урахуванням формул (4.9), (4.10) і (4.11) подати у вигляді

$$S(\Delta f) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } |\Delta f| \leq 0,5B_3; \\ 60 \lg(\Delta f / B_{60}) / \lg K_{60}, & \text{якщо } 0,5B_3 < |\Delta f| \leq 0,5B_{60}. \end{cases}$$

Якщо коефіцієнти прямокутності невідомі, то використовують апроксимацію характеристики вибірності з нахилом $V=100$ дБ/дек, що на рис. 4.8 зображено лінією 4. При цьому $K_{60}=4$; $K_{20} = (K_{60})^{1/3} = 1,6$. Рівняння характеристики 4 набирає вигляду

$$S(\Delta f) = 100 \lg(f/4,5) / \lg K_{60} = 166 \lg(f/4,5), \text{ якщо } |\Delta f| \geq 4,5 \text{ кГц.}$$

У такому разі послаблення завадних сигналів, розстроєних відносно частоти приймача на ± 9 кГц і ± 15 кГц, становитиме відповідно 33 і 86 дБ.

Побічним каналом приймання називається смуга частот, що перебуває за межами смуги пропускання основного каналу й у якій завадний сигнал може проходити на вихід радіоприймача [57]. Завадні сигнали можуть проникати на вихід приймача по побічних каналах приймання, номінальні частоти яких мають фіксоване значення при налаштуванні приймача на частоту сигналу f_0 (як це зображено на рис. 4.6).

Побічні канали утворюються за рахунок перетворення частоти у змішувачах супергетеродинних приймачів. Їхня поява зумовлена недостатньою вибірністю преселектора приймача та нелінійністю процесу перетворення частоти у змішувачі, на виході якого виникають коливання гармонік і комбінаційних частот корисного сигналу, гетеродина та завад. Сигнал (корисний або завадний), що надходить на вхід змішувача, потрапляє у смугу $B_{п.ч}$ пропускання тракту ППЧ приймача й проходить на його вихід, якщо виконується умова [8; 57]

$$|pf_c \pm mf_\Gamma| = f_{п.ч} \pm 0,5B_{п.ч}, \quad (4.12)$$

де f_c — частота вхідного впливового сигналу; f_Γ — частота гетеродина; $f_{п.ч}$ — проміжна частота; $p, m = 0, 1, 2, \dots$ — номери гармонік сигналу та гетеродина.

Величина $N = |p| + |m|$ називається *порядком побічного каналу*. Згідно з (4.12) проміжні (центральні) частоти побічних каналів подаються у вигляді

$$f_{п.ч} = |(mf_\Gamma \pm pf_c)|/p.$$

При верхньому налаштуванні гетеродина ($f_\Gamma > f_c$) та різницевій проміжній частоті ($f_{п.ч} = f_\Gamma - f_c$) дістаємо розглянуті далі частоти каналів приймання.

Побічний канал на проміжній частоті (див. рис. 4.6, крива 2) має середню частоту $f_{п.к} = f_{п.ч}$ при $p = 1, m = 0$. Він утворюється внаслідок недостатньої вибірності преселектора приймача (вхідних контурів та ПВЧ). У приймачах магістрального радіозв'язку 1-го, 2-го та 3-го класів завадні сигнали на проміжній частоті $f_{п.ч}$ мають послаблюватися відповідно не менш ніж на 100, 80 і 60 дБ, а в побутових радіоприймачах АМ сигналів на частотах 280 і 560 кГц — не менш ніж на 40 ... 26 дБ — залежно від їхньої групи складності [57].

Побічний канал приймання на дзеркальній частоті (див. рис. 4.6, крива 3) має середню частоту $f_{п.к} = f_{дз} = f_\Gamma + f_{п.ч} = 2f_c + f_{п.ч}$ при $p, m = 1$. Він утворюється також через недостатнє послаблення завадних сигналів у преселекторі приймача. Згідно з установленними нормами [57] односигнальна вибірність по дзеркальному каналу приймачів магістрального зв'язку 1-го, 2-го та 3-го класів мають становити відповідно не менш ніж 90, 70 і 60 дБ. У побутових радіомовних АМ приймачах завади по дзеркальному каналу мають послаблюватися не менш ніж на 70 ... 40 дБ у діапазоні ДХ — залежно від їхньої групи складності.

Комбінаційні канали приймання (див. рис. 4.6, криві 4) на гармоніках гетеродина з частотами $2f_\Gamma \pm f_{п.ч}, 3f_\Gamma \pm f_{п.ч}$ і т.д. має середню частоту $f_{п.к} = mf_\Gamma \pm f_{п.ч}$ при $p = 1, m = 2, 3, \dots$.

Нелінійні побічні канали приймання з'являються на частотах $f_{п.к} = (mf_\Gamma \pm pf_c)/p$ при $p, m = 2, 3, \dots$ у разі, коли рівень вхідного сигналу достатньо великий і цей сигнал зазнає нелінійного перетворення у змішувачі приймача, унаслідок чого у змішувачі утворюються його гармоніки ($p > 1$).

Наприклад, при взаємодії першої гармоніки гетеродина ($m = 1$) та другої гармоніки завадного сигналу ($p = 2$) утворюються побічні канали приймання (див. рис. 4.6, криві 5) на субгармоніках частоти настроювання приймача $f_{п.к} = 0,5(f_{г} - f_{п.ч}) = 0,5f_0$ та частоти дзеркального каналу $f_{п.к} = 0,5(f_{г} + f_{п.ч})$. Взаємодія других гармонік завадного сигналу та гетеродину ($p, m = 2$) призводить до появи напівдзеркального каналу на частоті $f_{п.к} = f_{г} + 0,5 f_{п.ч}$. Потрібне послаблення завад по комбінаційних каналах приймання для приймачів магістрального радіозв'язку 1-го, 2-го і 3-го класів якості має становити відповідно не менш як 80, 66 і 60 дБ [57].

Чим вищий ступінь нелінійності процесу перетворення частоти у змішувачі приймача, тим більше з'являється гармонік і пов'язаних із ними побічних каналів приймання. Зі збільшенням номера p гармоніки сигналу її амплітуда, зазвичай, зменшується, і, відповідно, послаблюється дія пов'язаної з нею завади. Тому у практичних розрахунках обмежуються значеннями $p \leq 3$.

Сприйнятливість по побічних каналах приймання виражають у децибелах відносно чутливості основного каналу (див. рис. 4.6). Цей параметр показує, наскільки чутливість побічного каналу нижча за чутливість основного. Послаблення чутливості по побічних каналах зазвичай вимірюють односигнальним методом (за відсутності корисного сигналу).

Динамічний діапазон по побічному каналу приймання $D_{п.к}$ [8; 57] — відношення максимальної амплітуди E_{\max} завадного сигналу на частоті $f_{п.к}$ одного з побічних каналів до мінімальної амплітуди E_{\min} корисного сигналу f_0 , при якій забезпечується задане відношення сигнал/(шум + завада) на виході приймача, характеризує вибірність приймача від завад по побічних каналах:

$$D_{п.к}(f_{п.к}) = E_{\max}(f_{п.к}) / E_{\min}(f_0) \text{ при } Q_{\text{вих}} = \text{const},$$

де $Q_{\text{вих}} = (P_c / P_{\text{ш}} + P_{п.к})$ — відношення потужності корисного сигналу до сумарної потужності $P_{\text{ш}}$ внутрішніх шумів і $P_{п.к}$ — завад із побічного каналу.

Сприйнятливість по побічних каналах залежить від послаблення завадного сигналу у преселекторі приймача та від виду нелінійності характеристики змішувача. Зі зростанням порядку N побічного каналу ($N = |p| + |m|$) його сприйнятливість знижується. До найбільш небезпечних належать завади по побічних каналах, які мають порівняно невелике розстроювання відносно частоти настроювання приймача, оскільки їхні сигнали недостатньо послаблюються його преселектором або у тракці ППЧ. Ідеться передусім про дзеркальний канал, напівдзеркальні канали та канал проміжної частоти. Послаблення завад, що надходять на вхід приймача по зазначених побічних каналах, має бути найбільшим. Норми щодо вибірності по інших побічних каналах менш жорсткі. Наприклад, для магістральних приймачів 1-го, 2-го і 3-го класів потрібні значення послаблення завад по дзеркальному каналу становлять відповідно не менш ніж 90, 70 і 60 дБ, а по комбінаційних каналах — відповідно 80, 66 і 60 дБ [57].

Порогова сприйнятливість приймачів до завад, що надходять по побічних каналах, має значний розкид [8]. Рівень порогу сприйнятливості для будь-яких приймачів, настроєних на довільну частоту, можна апроксимувати виразом [8]

$$P(t) = P(f_0) + I \lg(f/f_0) + C, \quad (4.13)$$

де $P(f_0)$ — порогова (або реальна) чутливість приймача на частоті f_0 основно-

го каналу, дБп; I — коефіцієнт, що характеризує швидкість спадання сприйнятливості з віддаленням частоти побічного каналу від частоти настроювання, дБ/дек; C — послаблення сприйнятливості по побічному каналу приймання відносно основного, дБ.

Параметри моделі сприйнятливості по побічних каналах, утворюваних першою гармонікою гетеродина ($m = 1$), наведено в табл. 4.5, в якій узагальнено результати статистичної обробки даних вимірювань широкого класу приймачів [8].

Для комбінаційних побічних каналів, що утворюються за участю другої та третьої гармонік гетеродина ($p = 1, m = 2, 3$), послаблення C збільшується відповідно на 15 і 20 дБ порівняно з даними, наведеними в табл. 4.5 [8].

Таблиця 4.5.

Параметри моделі сприйнятливості

Частота настроювання	$f < f_0$		$f = f_0$	$f > f_0$	
	I , дБ/дек	C , дБ		I , дБ/дек	C , дБ
$f_0 < 30$	-20	80	$I = 0$	25	85
$30 < f_0 < 300$	-20	80	$C = 0$	35	75
$f_0 > 300$	-20	80		40	60

4.2.2. Характеристики й параметри радіоприймального пристрою в разі впливу кількох коливань

У реальних умовах експлуатації радіоприймальних пристроїв на них можуть діяти одночасно з корисним випромінюванням достатньо сильні завади радіовипромінювання, вплив яких виявляється у вигляді нелінійних ефектів блокування, перехресних та інтермодуляційних спотворень корисного сигналу, а також його вторинної модуляції. Частоти завадних сигналів при цьому можуть мати різні значення, що не збігаються зі значеннями частот основного та побічних каналів приймання. Утворювані канали приймання завад називаються позасмуговими. Завади, що викликають ефекти блокування та перехресної модуляції, виявляють себе лише у присутності корисного сигналу, що відрізняє їх від завад по побічних каналах.

Багатосигнальна частотна вибірність характеризує властивість приймача виділяти корисний радіосигнал на тлі власних шумів і завадних радіосигналів, що діють на його виході. Вона визначається відношенням рівнів сигналів, які одночасно надходять на вхід приймача на одній чи кількох заданих частотах і на частоті настроювання приймача при заданому відношенні на його виході сумарної потужності складових завади до потужності корисного сигналу [8; 57]. При вимірюванні багатосигнальної вибірності для врахування нелінійних ефектів блокування, перехресних спотворень, а також приймання інтенсивної завади по побічних каналах на вхід приймача подають два коливання, одне з яких відповідає корисному сигналу, а друге — заваді. Для оцінювання інтермодуляційних спотворень використовують три сигнали: корисний і два завадних.

Вплив завадних сигналів на характеристику частотної вибірності приймача ілюструє рис. 4.9, де крива 1 — характеристика односигнальної вибірності приймача за відсутності завади або в разі дуже малого (такого, що ним можна знехтувати) рівня P_{31} завади, криві 2 і 3 — характеристики багатосигнальної вибірності, отримані при дії інтенсивних завад із рівнями $P_{33} > P_{32} > P_{31}$ [8; 57].

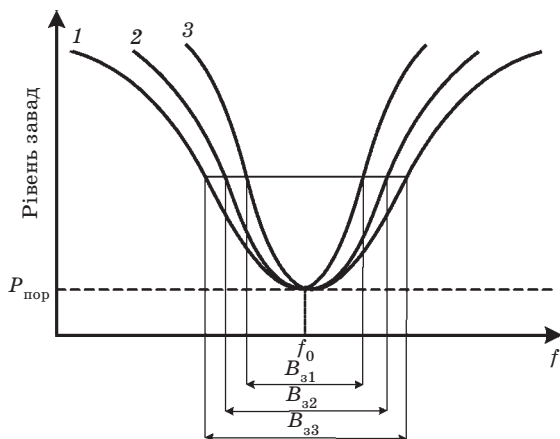


Рис. 4.9. Односигнальна (1) та багатосигнальні (2, 3) характеристики частотної вибірності приймача

Як впливає з рис. 4.9, зростання потужності завад призводить до зниження вибірних властивостей (селективної здатності) приймача — розширення його смуги пропускання та збільшення коефіцієнта прямокутності частотної характеристики. Цю обставину враховано в нормах на вибірність радіоприймачів.

Наприклад, для побутових АМ приймачів найвищого класу якості односигнальна вибірність по сусідньому каналу при розстроюванні на ± 9 кГц має становити не менш ніж 56 дБ, а двосигнальна, якщо відношення сигнал/(шум + завада) на виході дорівнює 20 дБ, — не менш ніж 44 дБ. Для цієї самої групи приймачів односигнальна вибірність по дзеркальному каналу в діапазоні ДХ дорівнює не менш ніж 70 дБ, а двосигнальна — не менш ніж 50 дБ [57].

Ефект блокування виявляється у зменшенні амплітуди корисного сигналу та відповідному зменшенні відношення сигнал/шум на виході приймача в результаті дії на його вході завадного сигналу з частотою, яка не збігається з частотою основного та побічних каналів приймання [8; 57]. Блокування виникає в перших каскадах приймача (ПВЧ та змішувачі) через нелінійність вольт-амперної характеристики використовуваних активних елементів (діодів, транзисторів тощо). В околі робочої точки, яка визначається напругою E_0 зсуву, вольт-амперну характеристику нелінійного елемента $I_{\text{вих}} = \varphi(E_0 + U_{\text{вх}})$ можна апроксимувати рядом Тейлора, подавши скороченим поліномом 3-го степеня [8]:

$$I_{\text{вих}} \approx I_0 + b_0 U_{\text{вх}} + b'_0 U_{\text{вх}}^2 / 2 + b''_0 U_{\text{вх}}^3 / 6, \quad (4.14)$$

де b_0 , b'_0 , b''_0 — відповідно кругість вольт-амперної характеристики та її перші дві похідні в робочій точці.

Відомо [8], що у формуванні амплітудної характеристики підсилювального каскаду беруть участь лише непарні члени ряду (4.14), який апроксимує характеристику нелінійного елемента. Тому, виключивши постійну складову I_0 струму та квадратичний член ряду, дістаємо вираз

$$I_{\text{вих}} \approx b_0 U_{\text{вх}} + b''_0 U_{\text{вх}}^3 / 6. \quad (4.15)$$

Підставляючи в (4.15) вхідну напругу $U_{\text{вх}}$ у вигляді суми напруг сигналу (U_c) та завади (U_3) ($U_{\text{вх}} = U_c + U_3 = E_c \cos \omega_c t + E_3 \cos \omega_3 t$, дістаємо:

$$I_{\text{вих}} \approx b_0(U_c + U_3) + b_0'' \left(U_c^3 + 3U_c^2 U_3 + 3U_3^2 U_c + 3U_3^3 \right) / 6 = b_0(E_c \cos \omega_c t + E_3 \cos \omega_3 t) + b_0'' \left[0,25 E_c^3 (3 \cos \omega_c t + \cos 3\omega_c t) + 1,5 E_c^2 E_3 (1 + \cos 2\omega_c t) \cos \omega_3 t + 1,5 E_3^2 E_c (1 + \cos \omega_3 t) \cos \omega_c t + 0,25 E_3^3 (3 \cos \omega_3 t + \cos 3\omega_3 t) \right] / 6. \quad (4.16)$$

Як випливає з (4.16), до складу вихідного струму нелінійного елемента належать коливання з частотами $f_c, f_3, 3f_c, 3f_3, 2f_c + f_3, 2f_3 + f_c$. На вихід приймача проходить лише коливання з частотою сигналу, тоді як усі інші складові подавляються у процесі фільтрації в ПВЧ та ППЧ.

Амплітуда першої гармоніки струму на частоті сигналу f_c , виділена з (4.16), набирає вигляду

$$I_1 = E_c \left(b_0 + b_0'' E_c^2 / 8 + b_0'' E_3^2 / 4 \right) = E_c b_{\text{cp}}. \quad (4.17)$$

Рівняння (4.17) являє собою амплітудну характеристику нелінійного елемента — залежність амплітуди першої гармоніки частоти сигналу від напруг сигналу та завади, які діють на вході (рис. 4.10).

Вираз у круглих дужках у (4.17) — це середня крутість b_{cp} вольт-амперної характеристики активного елемента (діода, транзистора тощо), яка залежить від амплітудних значень напруги E_c сигналу та E_3 завади. У разі сильної завади ($E_3 \gg E_c$) вираз (4.17) можна спростити, подавши його у вигляді

$$I_1 = E_c \left(b_0 + b_0'' E_3^2 / 4 \right) = E_c b_{\text{cp}}, \quad (4.18)$$

де середня крутість залежить лише від потужності завади:

$$I_1 = b_0 \left(1 + b_0'' E_3^2 / 4 b_0 \right). \quad (4.19)$$

Відношення b_0'' / b_0 — параметр, що характеризує нелінійність використаного активного елемента, яка спричинює появу ефекту блокування корисного сигналу. Із (4.18), (4.19) випливає, що при $b_0'' = 0$ амплітудна

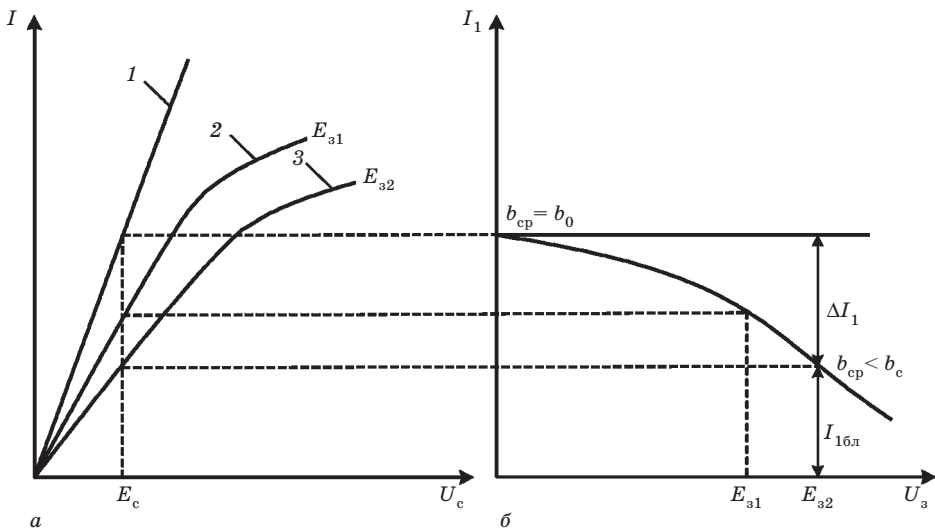


Рис. 4.10. Вплив ефекту блокування: а — на амплітудну характеристику; б — на амплітуду сигналу

характеристика лінійна (пряма 1 на рис. 4.10, а), її крутість максимальна ($b_{cp} = b_0$) і амплітуда першої гармоніки струму, що дорівнює $I_1 = b_0 E_c$, не залежить від дії завади (рис. 4.10, б). При $b_0'' < 0$ амплітудна характеристика нелінійна (криві 2 і 3 на рис. 4.10, а), а середня крутість ($b_{cp} < b_0$) і амплітуда струму зменшуються зі зростанням потужності завади ($E_{32} > E_{31}$). Наслідками ефекту блокування корисного сигналу завадою є зменшення амплітуди вихідного корисного сигналу приймача на ΔI_1 (див. рис. 4.10, б) та відповідне зменшення вихідного відношення сигнал/шум.

Характеристика частотної вибірності щодо блокування являє собою залежність амплітуди завадного сигналу на вході приймача від його частоти в разі одночасної дії корисного сигналу, коли задано зменшення амплітуди (і відношення сигнал/шум) на виході приймача.

Параметрами частотної вибірності щодо блокування є коефіцієнт блокування, динамічний діапазон і рівень сприйнятливості щодо блокування. **Коефіцієнт блокування** $K_{бл}$ дорівнює відношенню приросту $|\Delta E_{вих}|$ (зміни) амплітуди корисного сигналу на виході приймача під впливом завади до амплітуди цього сигналу за відсутності завади [57]:

$$K_{бл} = \Delta E_{вих} / E_{вих} = (E_{вих} - E_{вих.бл}) / E_{вих} = (I_1 - I_{1бл}) / I_1 = b_0'' E_c^2 / 4b_0, \quad (4.20)$$

де $E_{вих}$, $E_{вих.бл}$ — амплітуди сигналів на виході приймача, пропорційні до значень I_1 , $I_{1бл}$ на рис. 4.10, відповідно за відсутності та за наявності блокувальної завади.

Частота $f_{бл}$ завадного сигналу при блокуванні, розміщена за межами смуги пропускання ППЧ, може збігатися з частотами $f_{с.к}$ сусідніх каналів або мати проміжне значення: $f_{с.к.н} \leq f_{бл} \leq f_{с.к.в}$, (тут літера «н» в індексі означає нижній, а літера «в» — верхній сусідній канал). Виняток становлять смуги частот побічних каналів приймання. Смуга частот, в якій спостерігається ефект блокування, називається *смугою блокування*. Припустиме значення коефіцієнта блокування залежить від призначення та класу приймального пристрою і зазвичай не перевищує 10%.

Динамічний діапазон щодо блокування $D_{бл}$ визначається як відношення значення характеристики частотної вибірності щодо блокування при заданому частотному розстроюванні завадного сигналу відносно основного каналу до чутливості приймача [8]:

$$D_{бл} = E_{бл}(f) / E_c(f_0),$$

де $E_{бл}(f)$ — амплітуда завадного сигналу на вході приймача; $E_c(f_0)$ — мінімальна амплітуда корисного сигналу на вході приймача, що відповідає його чутливості. Залежно від класу приймача його динамічний діапазон щодо блокування зазвичай не перевищує 60...70 дБ.

Рівень сприйнятливості щодо блокування визначається як мінімальний рівень завадного сигналу на вході приймача $E_{з вх.мін}$ на заданій частоті (наприклад, на частоті сусіднього каналу), за якого коефіцієнт блокування набуває заданого значення [57].

Параметри блокування приймачів нормуються. Для приймачів магістрального радіозв'язку КХ діапазону рівень блокувальної завади при відстроюванні її частоти на 20 кГц відносно частоти сигналу має бути не менш як 60...90 дБмкВ (залежно від класу приймача) та не менш як 130 дБмкВ при відстроюванні на 6%. Для зменшення сприйнятливості приймачів щодо блокування необхідно підвищувати вибірність вхідних кіл, застосовувати

в ПВЧ та змішувачі активні елементи із малим значенням параметра нелінійності b_0''/b_0 , тобто з високою лінійністю.

Перехресне спотворення корисного сигналу — це ще один нелінійний ефект у приймачі, який викликає перенесення модуляції із завадного сигналу на корисний.

У результаті цього ефекту виникають спотворення спектра сигналу на виході приймача, коли на його вході діє модульована радіозавада, частота якої не збігається з частотою ні основного, ні побічного каналу приймання [8; 57]. Перехресні спотворення виникають у ПВЧ та перетворювачі частоти приймача, коли на ці елементи впливає модульований завадний сигнал із частотою, близькою до частоти настроювання основного каналу приймання, наприклад із частотою сусіднього каналу. За наявності АМ завади та немодульованого корисного сигналу на вході нелінійного елемента діє напруга

$$U_{\text{вх}} = U_c + U_3 = E_c \cos \omega_c t + E_3 (1 + m_3 \cos \Omega_3 t) \cos \omega_3 t, \quad (4.21)$$

де m_3 — коефіцієнт амплітудної модуляції завадного сигналу з частотою Ω_3 .

Підставивши (4.21) у (4.15) і виконавши відповідні тригонометричні перетворення, дістанемо вираз для амплітуди першої гармоніки частоти сигналу, який за умов відносної мализни сигналу ($E_c < E_3$) та невеликої глибини модуляції завади ($m_3 \ll 1$) набирає вигляду

$$I_1 = E_c (b_0 + b_0'' E_3^2 / 4 + 0,5 b_0'' E_3^2 m_3 \cos \Omega_3 t). \quad (4.22)$$

Другий доданок у (4.22) відбиває ефект блокування корисного сигналу, а третій доданок — ефект перехресної АМ модуляції сигналу завадою з частотою Ω_3 , у результаті чого у спектрі вихідного сигналу нелінійного елемента з'являються складові на частотах $f_c \pm \Omega_3$. При $\Omega_3 < 0,5 B_3$ ці завадні складові потрапляють у смугу пропускання основного каналу й проходять на вихід приймача. Глибина паразитної перехресної модуляції корисного сигналу в (4.22)

$$m_{\text{пр}} = b_0'' E_3^2 m_3 / 2b_0. \quad (4.23)$$

Параметрами перехресних спотворень є коефіцієнт перехресних спотворень, рівень сприйнятливості та динамічний діапазон приймача за перехресними спотвореннями.

Коефіцієнт перехресних спотворень $K_{\text{пр}}$ визначається відношенням рівня спектральних складових, що виникають у результаті перехресних спотворень, до рівня сигналу на виході приймача при заданих параметрах завадного та корисного сигналів [8; 57]. Із виразу (4.22) випливає, що в разі немодульованого корисного сигналу коефіцієнт перехресних спотворень чисельно дорівнює глибині паразитної перехресної модуляції (4.23), тобто $K_{\text{пр}} = m_{\text{пр}}$. Якщо завадний радіосигнал модульовано з частотою Ω_3 , а корисний радіосигнал із частотою Ω_c , то $K_{\text{пр}}$ характеризує відношення приросту (зміни) першої гармоніки вихідного струму за рахунок дії завади $\Delta I_1(\Omega_3)$ до приросту першої гармоніки струму за рахунок корисного сигналу $\Delta I_1(\Omega_c)$:

$$K_{\text{пр}} = \Delta I_1(\Omega_3) / \Delta I_1(\Omega_c) = b_0'' E_3^2 m_3 / 2b_0 m_c. \quad (4.24)$$

У разі, коли глибина модуляції завадного та корисного сигналів одна й та сама ($m_3 = m_c$), коефіцієнт перехресних спотворень дорівнює відношенню максимальної амплітуди спектральної складової з частотою завадного сигналу

до максимальної амплітуди спектральної складової із частотою корисного сигналу на виході приймача [57]:

$$K_{\text{пр}} = I_1(\Omega_s) / I_1(\Omega_c) = b_0'' E_s^2 / 2b_0. \quad (4.25)$$

Тут $I_1(\Omega_s)$, $I_1(\Omega_c)$ — амплітуда спектральних складових на виході радіоприймача з частотою відповідно завади та сигналу.

Характеристика частотної вибірності за перехресними спотвореннями являє собою залежність амплітуди модульованого радіосигналу на вході радіоприймача від частоти в разі заданого коефіцієнта перехресних спотворень.

Рівень сприйнятливості радіоприймача за перехресними спотвореннями, якщо задано частотне розстроювання завадного сигналу відносно частоти настроювання приймача, визначається частотною характеристикою при заданому $K_{\text{пр}}$ [4]. Відносну частотну вибірність (сприйнятливість) приймача до перехресних завад характеризує його динамічний діапазон $D_{\text{пр}}$ за перехресними спотвореннями, що дорівнює відношенню частотної вибірності за перехресними спотвореннями на заданій частоті (наприклад, на частоті сусіднього каналу) до чутливості приймача [8; 57]:

$$D_{\text{пр}} = E_{\text{пр}}(f) / E_c(f_0) \text{ при } K_{\text{пр}} = \text{const},$$

де $E_{\text{пр}}(f)$ — амплітуда модульованого завадного сигналу на вході приймача; $E_c(f_0)$ — мінімальна амплітуда корисного сигналу на вході приймача, що відповідає його чутливості.

Динамічний діапазон є мірою лінійності приймального тракту, яка обмежується зверху появою перехресних спотворень заданого корисного сигналу, а знизу — чутливістю приймача. Динамічний діапазон за перехресними спотвореннями в більшості приймачів не перевищує 55...65 дБ [8].

Із (4.25) при заданому коефіцієнті $K_{\text{п.с}}$ перехресних спотворень можна дістати оцінку припустимої амплітуди $E_{\text{пр. прип}}$ завадного сигналу, що характеризує рівень сприйнятливості приймача до перехресних спотворень. Установлені норми на припустиму напругу перехресної завади у НЧ, СЧ і ВЧ діапазонах для побутових приймачів нульової групи складності становлять відповідно 250, 250 і 50 мВ, а для приймачів магістрального радіозв'язку першого класу рівень перехресних завад має становити не менш як 80 дБмкВ [57].

Оскільки поява ефектів перехресної модуляції та блокування корисного сигналу зумовлюється однією і тією самою причиною — зміною коефіцієнта передавання нелінійного елемента (зміною середньої крутості його амплітудної характеристики) під впливом сильного завадного сигналу, то заходи, спрямовані на зменшення перехресних спотворень, ті самі, що й у разі ефекту блокування.

Інтермодуляція (взаємна модуляція) у радіоприймачі — нелінійний ефект, що виникає тоді, коли на вході приймача взаємодіють не менш як два завадні сигнали, частоти яких не збігаються з частотами основного та побічних каналів приймання [57].

Одночасний вплив кількох завадних сигналів на нелінійні елементи ПВЧ або змішувача призводить до появи спектральних складових із новими частотами, які можуть потрапляти у смугу пропускання основного або побічних каналів приймача та створювати завади на його виході. Частоти небезпечних інтермодуляційних коливань порядку $N = |m| + |n|$, які потрапляють у смугу пропускання ППЧ, визначаються нерівністю

$$|mf_1 + nf_2| \leq f_0 \pm B_X/2, \quad (4.26)$$

де f_1, f_2 — частоти заводних сигналів, f_0 — частота настроювання приймача; B_X — смуга пропускання ППЧ на рівні $-X$ дБ; $n, m = \pm 1, 2, 3, \dots$

Для оцінювання впливу інтермодуляційних завод смугу частот ППЧ зазвичай беруть на рівні $X = -60$ дБ. Ця смуга може бути відомою або визначеною згідно з використовуваною моделлю вибірності приймача за проміжною частотою. Для моделі вибірності тракту ППЧ на рис. 4.8 (крива 4) виконується співвідношення $B_{60} = 4B_3$, де B_3 — смуга на рівні 3 дБ (див. рис. 4.7).

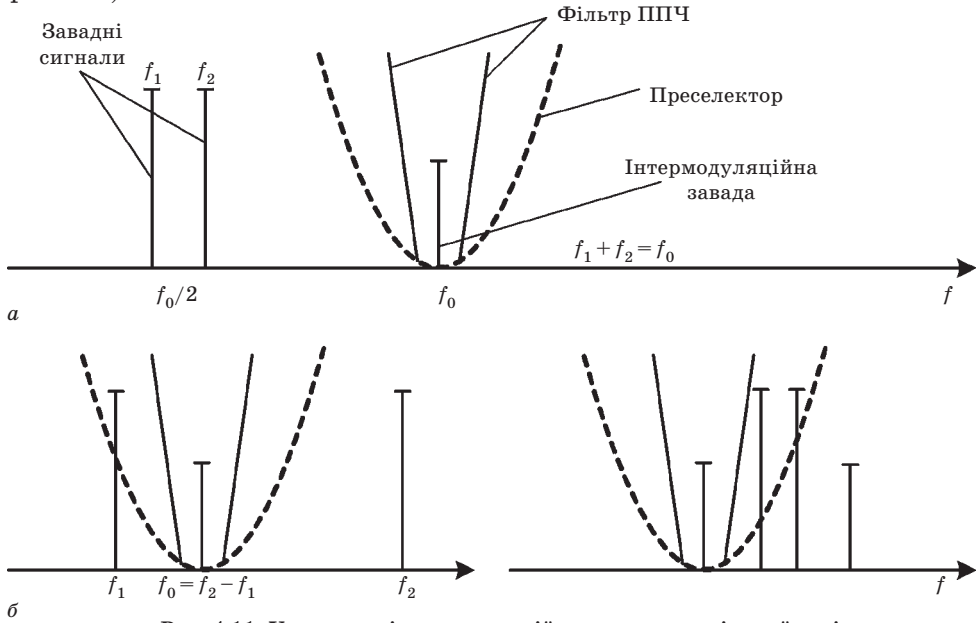


Рис. 4.11. Утворення інтермодуляційних завод у радіоприймачі

Найбільшу заводну дію мають інтермодуляційні заводи другого ($N = 2$) та третього ($N = 3$) порядку виду $f_2 + f_1 = f_0$; $2f_1 - f_2 = f_0$; $2f_2 - f_1 = f_0$, де f_1 — частота заводи, найближча до частоти настроювання приймача; f_2 — більш віддалена частота. Положення заводних сигналів на осі частот, що їх створюють такі заводи, ілюструє рис. 4.11, а. На вхід нелінійного елемента при цьому впливає сумарна напруга $U_{вх}$ корисного сигналу U_c та двох заводних U_{31} і U_{32} :

$$U_{вх} = U_c + U_{31} + U_{32} = E_c \cos \omega_c t + E_{31} \cos \omega_{31} t + E_{32} \cos \omega_{32} t. \quad (4.27)$$

Інтермодуляційні складові другого порядку з частотами $f_2 + f_1 = f_0$ або $f_2 - f_1 = f_0$, зображені на рис. 4.11, б, формуються за рахунок квадратичного члена $(b'_0 U_{вх}^2 / 2)$ ряду Тейлора (4.14), який апроксимує вольт-амперну характеристику нелінійного елемента

$$I_{вих} = \varphi(E_0 + U_c + U_{31} + U_{32}).$$

Підставляючи (4.27) у (4.14) з урахуванням співвідношення

$$U_{вх}^2 = U_c^2 + U_{31}^2 + U_{32}^2 + 2(U_c U_{31} + U_{31} U_{32} + U_c U_{32}), \quad (4.28)$$

дістаємо для амплітуди першої гармоніки частоти сигналу у вихідному струмі нелінійного елемента такий вираз:

$$I_1 = b_0 E_c + b'_0 E_{31} E_{32} / 2. \quad (4.29)$$

Другий доданок у (4.29) характеризує дію інтермодуляційних спотворень амплітуди корисного сигналу, що за відсутності завади дорівнює $b_0 E_c$. Параметрами інтермодуляційних спотворень у приймачі є коефіцієнт інтермодуляції, динамічний діапазон щодо інтермодуляції та рівень сприйнятливості приймача щодо інтермодуляції.

Коефіцієнт інтермодуляції K_1 у радіоприймачі чисельно дорівнює відношенню рівня завади, що з'явилася в результаті інтермодуляції на виході приймача, до рівня сигналу, який відповідає чутливості радіоприймача [8; 57]:

$$K_1 = E_i(f) / E_c(f_0),$$

де $E_i(f)$ — рівень інтермодуляційної завади на виході приймача; $E_c(f_0)$ — номінальний рівень сигналу на його виході.

Із (4.29) дістаємо коефіцієнт інтермодуляції другого порядку, що дорівнює відносному рівню інтемодуляційної складової у струмі першої гармоніки:

$$K_{i2} = b'_0 E_{s1} E_{s2} / 2b_0 E_c. \quad (4.30)$$

Найбільш небезпечні інтермодуляційні завади третього порядку (рис. 4.11, в) із частотами $2f_2 - f_1 = f_0$ або $2f_1 - f_2 = f_0$, де f_1 — частота завадного сигналу, найближчого до частоти f_0 настроювання приймача. Це пояснюється тим, що при утворенні завад другого порядку поблизу частоти настроювання приймача перебуває частота лише одного з двох завадних сигналів (див. рис. 4.11, а), тоді як при формуванні завад третього порядку поблизу частоти настроювання можуть перебувати обидві завадні частоти (див. рис. 4.11, в). Оскільки завада на більш віддаленій частоті сильніше послаблюється у преселекторі приймача, то рівень інтермодуляційних спотворень третього порядку, як правило, значно більший, і тому їх потрібно враховувати передусім.

Інтермодуляційні завади третього порядку виникають за рахунок впливу кубічного члена $b''_0 U_{\text{вх}}^3 / 6$ ряду Тейлора (4.15). Підставляючи в цей вираз (4.27) та виконуючи відповідні тригонометричні перетворення, дістаємо вираз для приросту амплітуди першої гармоніки частоти сигналу, зумовленої впливом інтермодуляційних завад, у вигляді

$$b''_0 E_{s1}^2 E_{s2} / 8.$$

Звідси коефіцієнт інтермодуляції третього порядку

$$K_{i3} = b''_0 E_{s1}^2 E_{s2} / 8b_0 E_c. \quad (4.31)$$

Рівень інтермодуляції складових швидко зменшується зі зростанням їхнього порядку, тому складові з порядком $N > 3$ зазвичай не враховуються.

Характеристика частотної вибірності щодо інтермодуляційних завад являє собою залежність рівнів завадних сигналів на вході приймача, які створюють інтермодуляційну заваду, від частоти одного з них у разі заданого коефіцієнта інтермодуляції. Характеристику частотної вибірності щодо інтермодуляційних завад вимірюють трисигнальним методом. На вхід приймача при цьому подають два завадні сигнали з однаковими рівнями та частотами f_1 і f_2 , що збігаються з частотами сусідніх каналів, суміжних із частотою настроювання приймача. Наприклад, для радіомовних АМ сигналів у КХ діапазоні $f_1 = f_0 + 5$ кГц і $f_2 = f_0 + 10$ кГц. У такому разі при взаємодії дру-

гої гармоніки завади із частотою f_1 із першою гармонікою завади з частотою f_2 утворюється інтермодуляційна завада на частоті сигналу, на яку настроєно приймач: $2(f_0 + 5) - (f_0 + 10) = f_0$. Припустимою вважається завада, за якої коефіцієнт інтермодуляції не перевищує 3–5% [57].

Динамічний діапазон $D_{\text{ін}}$ інтермодуляції в радіоприймачі визначається відношенням частотної вибірності щодо інтермодуляції у приймачі при заданому частотному розстроюванні відносно основного каналу приймання до чутливості радіоприймача [57]:

$$D_{\text{ін}} = E_{\text{ін}}(f)/E_c(f_0),$$

де $E_{\text{ін}}(f)$ — амплітуда завадних сигналів на вході радіоприймача, які створюють інтермодуляційну заваду; $E_c(f_0)$ — мінімальна амплітуда корисного сигналу на вході приймача, яка відповідає його реальній чутливості.

Динамічний діапазон щодо інтермодуляційних спотворень не перевищує 45...60 дБ.

Рівень сприйнятливості щодо інтермодуляції радіоприймача визначається як мінімальний рівень завадних сигналів за умови, що задано їхнє частотне розстроювання відносно частоти основного каналу приймання, а також коефіцієнт інтермодуляції [57]. Згідно з нормами, установленими для приймачів магістрального радіозв'язку, рівень інтермодуляційних завад третього порядку має становити не менш як 80...60 дБмкВ залежно від класу приймачів.

Інтермодуляційна завада на виході приймача може з'являтися як за наявності, так і за відсутності корисного сигналу, на відміну від ефектів блокування та перехресної модуляції, що виникають лише за наявності корисного сигналу (див. рис. 4.11). За інших однакових умов радіоприймальний пристрій більш сприйнятливий до інтермодуляційних завад, аніж до ефектів блокування та перехресних спотворень. Тому динамічний діапазон приймача щодо інтермодуляційних спотворень, як правило, на 10...15 дБ менший за динамічні діапазони щодо блокування та перехресних спотворень. Заходи боротьби з інтермодуляційними завадами полягають у підвищенні вибірності вхідних кіл та застосуванні в ПВЧ і змішувачі активних елементів із малим значенням параметра b_0''/b_0 нелінійності.

4.2.3. Завади від радіоприймальних пристроїв та їхня сприйнятливість поза антеною

Радіоприймач може сам бути джерелом завад, здатних погіршити електромагнітну обстановку для інших РЕЗ. Наприклад, коливання гетеродина (гетеродинів) приймача, випромінєні через приймальну антену, відіграватимуть роль радіозавад для розміщених поблизу інших приймачів і рецепторів.

Приймач (як і передавач) може бути джерелом інтермодуляційних випромінювань, якщо багато передавачів і приймачів розміщено на невеликому майданчику, зазвичай на узвишші для збільшення зони радіовидимості та надійності радіозв'язку, особливо в разі кругових діаграм спрямованості приймальних і передавальних антен.

Інтермодуляційні складові можуть створюватися в нелінійних колах тракту радіочастоти приймача та у змішувачі через недостатній захист відповідних кіл від індукованих полів, перевипромінюючись у навколишнє середовище.

При розрахунках рівнів потужності інтемодуляційних випромінювань найчастіше обмежуються комбінованими складовими третього порядку виду $f_k = 2f_1 - f_2$ або $f_k = f_1 + f_2 - f_3$.

Важливість цього питання підтверджує Рекомендація ITU SM.239-2, де зазначається, зокрема, таке:

- багато приймачів створюють побічні випромінювання, пов'язані, наприклад, із випромінюваннями гетеродинів або тракту проміжної частоти, а в разі телевізійних приймачів — кіл розгортки;

- ці випромінювання можуть іти від антенних кіл, проводів електроживлення або шасі приймача, створюючи завади багатьом службам;

- допуски для таких побічних випромінювань деякі адміністрації встановили з використанням різних методів; утім бажано встановити міжнародні стандарти на методи вимірювань і на допуски.

Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) опублікувала стандарт (Публікація МЕК 106) на методи вимірювання випромінюваних і таких, що діють по лініях електроживлення, завод від радіоприймачів із амплітудною та частотною модуляцією, а також від телевізійних приймачів.

МСЕ-Р одногослоно рекомендує:

- 1) керуватися методами вимірювання побічних випромінювань, ухвалених МЕК для всіх типів приймачів звукового й телевізійного мовлення;

- 2) урахувати допуски на побічні випромінювання від радіоприймачів звукового радіомовлення з частотною модуляцією та приймачів телевізійного мовлення, установлені СІСПР;

- 3) при конструюванні приймачів використовувати всі можливі засоби для зменшення побічних випромінювань.

Параметри сприйнятливості, не пов'язані з дією завод через антену, стосовно кондуктивних і випромінюваних завод прийнято розглядати окремо.

Заводи в колах живлення, управління, комутації та заземлення по цих колах можуть потрапляти до інших РЕЗ та знижувати якість їх функціонування. Тому ці завади нормуються (як і для радіопередавачів). Реалізацію цих норм покладають на відповідні фільтри в зазначених колах, на екранування і т. ін.

Сприйнятливість до кондуктивних завод оцінюється ступенем впливу завод по мережі живлення, а також по колах комутації, заземлення та інших колах монтажною схеми пристрою, що набуває особливої актуальності для складних радіоелектронних комплексів. Середовищем поширення таких завод є струмопровідні елементи механічних конструкцій — шасі, екрани, корпус (кожух), екрани кабелів і монтажна схема з великою кількістю провідників. В останньому випадку струми завод утворюються не лише за рахунок джерела електроживлення, а й за рахунок індуктивних і ємнісних зв'язків між провідниками монтажною схеми.

Кондуктивні завади створюються багатьма пристроями. Найбільш дослідженими є кондуктивні завади у смузі 0,15 ... 300 МГц завдяки їх тривалому вивченню з метою захисту радіоприймання в системах радіомовлення та телебачення. Їх вивчення триває в бік як вищих, так і нижчих частот (аж до часток гігагерц) частот.

Наголошуючи на важливості викладеного, зазначимо, що монтажна схема місячного модуля системи «Аполлон» має загальну довжину проводів 23 км і 40 тис. з'єднань, а монтажна схема літака С-5 фірми «Локхід» — 160 км за загальної кількості проводів 14 тис.

Тому при конструюванні таких монтажних схем необхідно ретельно аналізувати паразитні ємнісні й індуктивні зв'язки між проводами та розробляти практичні заходи, спрямовані на зменшення їхнього впливу на поширення внутрішньосистемних завад.

Кола первинного і вторинного живлення складного комплексу РЕЗ можуть стати джерелами імпульсного магнітного поля, зумовленого перехідними процесами через різкі зміни струму при підімкненні та скиданні навантаження. При цьому через паразитні ємнісні та індуктивні зв'язки у пристрої можуть проникати індустриальні імпульсні завади з широким спектром частот. Небезпечний вплив імпульсних завад на мікропроцесорні й обчислювальні засоби цих пристроїв доволі очевидний.

До заходів щодо захисту полів випромінювання у близькій зоні від кондуктивних завад належать:

- екранування елементів і вузлів один від одного;
- увімкнення у проводи живлення (управління, сигналізації тощо) завадоподавлювальних фільтрів;
- послаблення електромагнітних зв'язків між струмоносійними провідниками;
- іскрогасіння в контактних пристроях.

Екранування застосовується для окремих елементів, вузлів і блоків апаратури. Залежно від матеріалу й конструкції екрани по-різному послаблюють електричну та магнітну складові поля. Тому розрізняють електростатичні, магнітостатичні та електромагнітні екрани.

Електростатичне екранування полягає в замиканні силових ліній поля джерела на поверхню екрана та відведенні наведених зарядів на «корпус». Таке екранування ефективно для усунення ємнісних зв'язків.

Магнітостатичне екранування ґрунтується на замиканні силових ліній поля в товщі матеріалу екрана, що має підвищену магнітну проникність.

Зі зростанням частоти у стінках екрана виникають вихрові струми, поле витісняється з товщі екрана в його зовнішній шар, унаслідок чого екран переходить в електромагнітний режим.

Екрани виконуються з металів (мідь, латунь, сталь, алюміній тощо), а також із феромагнітних матеріалів (пермалой, μ -метал). Вони можуть бути одно- та багат шаровими, суцільними та перфорованими, сітчастими. Для зменшення маси та підвищення температурної стійкості екранів їх часто виготовляють зі сплавів алюмінію та магнію, легованих марганцем і цинком. За жорстких вимог до ефективності та масогабаритних показників екрани виконуються багат шаровими, коли чергуються шари немагнітних (зовнішній шар) і магнітних матеріалів, наприклад: мідь–сталь–мідь, алюміній–сталь–алюміній. Із цією самою метою застосовують пластмаси, кераміку, слюду з металізованим покриттям, яке наноситься напиленням, а також металеві сітки, заформовані в неперні або гумі.

Особливу увагу необхідно приділяти екрануванню котушок індуктивності, трансформаторів, струмоносійних проводів, вузлів на джерелі завадного сигналу (ДЗС). Плати з ДЗС у разі безкорпусного виконання повинні мати спільні екрани. У вузлах апаратури із заводотвірними елементами доцільно використовувати ДЗС із металоскляними або керамічними корпусами. Суцільні та двошарові металеві оболонки для струмоносійних кабелів забезпечують ефективність екранування понад 40 дБ (табл. 4.6).

Ефективність екранування суцільних екранів

Матеріал екрана	Частота, кГц	Втрати на поглинання всіх видів поля, дБ	Втрати на відбиття, дБ		
			магнітного поля*	електричного поля*	плоскої хвилі
Магнітний $\mu = 1000$ $G = 0,1$	1...10	30...10	≤ 30	≤ 90	≤ 90
	10...100	≤ 90	10...30	≤ 90	60...90
Немагнітний $\mu = 1000$ $G = 0,1$	1...10	≤ 10	30...60	≤ 90	≤ 90
	10...100	10...30	30...60	≤ 90	≤ 90

* Для відстані між джерелом завад і екраном, що дорівнює 1 м.

Для екранування міжблокових з'єднувальних ліній використовуються металеві облєтєння з дроту або стрічки, які забезпечують у діапазоні частот 20...200 кГц ефективність екранування 40...60 дБ.

Основним засобом подавлення кондуктивних завад, що надходять по колах живлення, є заводоподавлювальні фільтри, які не пропускають завад з одного пристрою до інших і від інших до цього пристрою. Ефективність таких фільтрів характеризується коефіцієнтом подавлення завад $K_{\phi} = 20 \lg(U_{\phi 0}/U_{\phi})$, де $U_{\phi 0}$, U_{ϕ} — напруга завад на навантаженні відповідно за відсутності та за наявності фільтра.

Аналогічний вираз справджується для коефіцієнта подавлення завад за струмом. До фільтрів висуваються вимоги щодо малих опорів, які вносяться в електричне коло, та малої провідності витікання, високої електричної міцності, стійкості до механічних і кліматичних навантажень. Від них не вимагається високої вибірності — вони мають послаблювати високочастотні коливання завад і пропускати без помітного послаблення постійний струм та струми промислової частоти.

Зазвичай вони будуються як ширококутові ФНЧ у вигляді багатоланкових фільтрів із Г-, Т- і П-подібними чарунками. За малого повного опору джерела найближчим до джерела елементом фільтра має бути котушка індуктивності, а за великого — конденсатор. Аналогічно (залежно від повного опору навантаження) слід вибирати останній елемент фільтра, що передє навантаженню.

Як ємнісні елементи фільтрів у діапазонах частот до 10 МГц і 30...50 МГц застосовуються відповідно двополюсні та опорні конденсатори. Прохідні коаксіальні конденсатори використовуються на частотах до 10 МГц, а також у колах із напругою 50...500 В на частотах до 1000 МГц. Спеціальні конденсаторні блоки забезпечують подавлення симетричних і несиметричних індустриальних завад. Відомі й малогабаритні та мікромініатюрні фільтри, убудовані безпосередньо в кабельні роз'єднєтєтє.

Послаблення електромагнітних зв'язків між струмоносійними провідниками, а також між з'єднувальними міжблоковими лініями апаратури знижує сприйнятливість її до завад. Вплив завадоносійних провідників-джерел на провідники-рецептори зумовлюється ємнісними та індуктивними зв'язками між ними. Зв'язок між провідником — джерелом завад та сигнальним провідником-рецептором можна послабити за допомогою екрана з малим повним опором заземлення. Індуктивний зв'язок можна послаблювати, змен-

шуючи площу, обмежену проекцією контура провідника-рецептора на площину, перпендикулярну до вектора індукції магнітного поля. Для цього можна застосувати екранування проводів та їх скручування.

Істотну роль у поширенні кондуктивних завад відіграють резистивні зв'язки через спільні опори в колі спільного джерела живлення та в колі системи заземлення. Якщо зазначені опори не дорівнюють нулю, то на них відбувається спад напруги від джерела завад, причому ця напруга виявляється прикладеною до входу рецептора.

Приклад скінченного опору шини заземлення, через який відбувається поширення кондуктивних завад від джерела живлення в рецептор (радіоприймач чи інший пристрій) наведено на рис. 4.12.

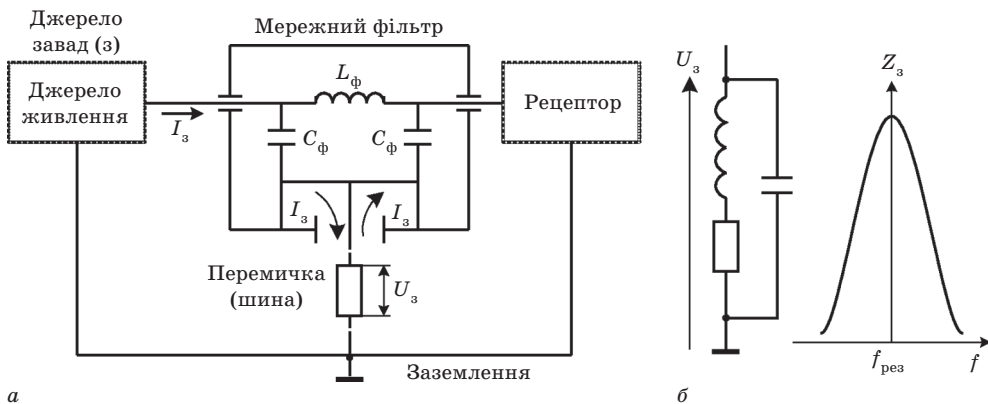


Рис. 4.12. Застосування протизавадного мережного фільтра: а — принцип дії при поширенні кондуктивних завад від джерела живлення в рецептор через скінченний опір заземлення; б — ситуація, в якій фільтр не виконує своєї функції

Примітка. Система заземлення — це електричне коло, що має властивість зберігати мінімальний потенціал (в ідеалі — «нульовий» відносно потенціалу земної кулі), який слугує рівнем відліку в конкретній електричній системі. У рухомому обладнанні «нульовий» потенціал може відрізнятись від потенціалу земної кулі, але завжди є опорним для будь-якого елемента електричної системи.

У реальних умовах система заземлення завжди являє собою певний опір (у загальному випадку — комплексний). У системі заземлення спільними елементами зв'язку для струмів кондуктивних завад є заземлювальні шини та перемички, які з'єднують окремі металеві частини системи заземлення та блоки (прилади) із цією системою.

Якість шин та перемичок зазвичай перевіряється за їхнім опором постійному струму. Проте для змінного струму шини являють собою частотно-залежний опір (див. рис. 4.12, б). Наприклад, мідна шина прямокутного перерізу завдовжки 225 мм на частоті 10 МГц може являти собою опір (за модулем) 3...4 Ом, а на частоті власного резонансу 50 МГц — опір 220 Ом.

Перемичка, що з'єднує корпус мережного фільтра із системою заземлення (див. рис. 4.12, а), може істотно зменшити ефективність такого фільтра. Цей приклад ілюструє необхідність контролю заземлення не лише на постійному струмі (зазвичай опір постійному струму не перевищує 2,5 Ом; він виконує функцію захисту обслуговувального персоналу та обладнання від ураження електричним струмом), а й на змінному. У системах із достатньо довгими шинами заземлення резонансні явища можуть виникати на частотах 15...70 МГц. Існують різні способи побудови систем заземлення, але тут вони не розглядаються.

Рекомендації щодо виконання пристроїв заземлення доволі важливі для забезпечення ЕМС систем, які працюють у територіально об'єднаному комплексі засобів.

Іскрогасильні схеми використовуються для зменшення завад від електромагнітних контактних пристроїв. Вони усувають іскрові й дугові розряди в міжконтактних проміжках. Іскрогасники виконуються на пасивних RC- або напівпровідникових елементах. Вони можуть шунтувати або лише контакти, або лише обмотку реле, або обидва ці конструктивні елементи одночасно. Ефективність іскрогасники мінімальна на низьких частотах і досягає максимуму на частотах 1...20 МГц.

Для комплексів РЕЗ, що мають у своєму складі радіоприймальні пристрої зв'язку, чинними є норми на припустимі рівні індустриальних завад, наведені на рис. 4.13.

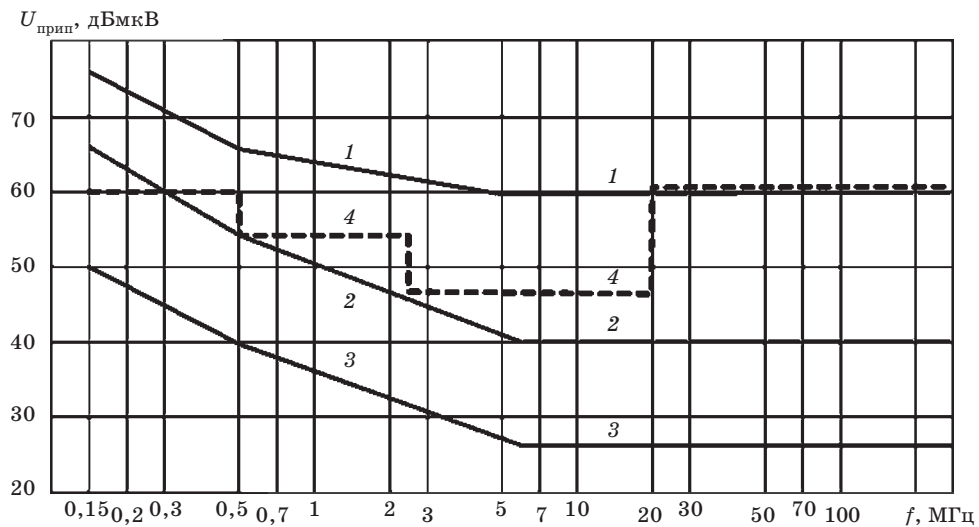


Рис. 4.13. Норми на припустимі рівні індустриальних завад для комплексів РЕЗ, які мають у своєму складі радіоприймальні пристрої зв'язку: 1 — засоби радіозв'язку та обчислювальної техніки; 2 — засоби авіаційної техніки та рухомої служби морських суден; 3 — обладнання, розміщуване всередині корпусу судна; 4 — радіостанції сухопутної рухомої служби

У радіостанціях сухопутної рухомої служби метрового діапазону захищеність радіоприймача по колах живлення та управління має бути не менш як 80 дБмкВ.

У тих випадках, коли пристрій, що входить до складу комплексу РЕЗ, розміщено поблизу антени достатньо потужного передавача (наприклад, на верхній палубі судна або із зовнішнього боку літального апарата), на нього впливають поля високої напруги до кількох десятків вольт на метр.

За таких умов корпус пристрою може виявити антенні властивості з електричною довжиною, яка дорівнює, наприклад, діагональному розміру корпусу.

Корпус можна розглядати як магнітну антену відносно магнітної складової поля індукції. Це ще один шлях для проникнення завад у радіоприймач.

4.3. Характеристики антен, що впливають на електромагнітну сумісність, та їх нормування

Анени РЕЗ доволі різноманітні як за типами, так і за характеристиками. Проте всі антени можна поділити на дві групи: антени осьового випромінювання та апертурні антени. До антен осьового випромінювання належать директорні («хвильовий канал»), променеві та спіральні, а до апертурних — рупорні (на основі конічного або пірамідального рупора), одно- та дводзеркальні антени із параболічним рефлектором або параболічні антени (ПА), а також комбіновані: рупорно-параболічні (РПА), рупорно-лінзові (РЛА) та перископічні антени (ПРА).

Характеристики випромінюваного антеною поля залежать від відстані між антеною та точкою спостереження. Результиуюча напруженість поля, створюваного антеною у вільному просторі, залежить від різниці Δr ходу хвиль, утворених окремими випромінювальними елементами антени, які являють собою елементарні випромінювачі. За умови, що $\Delta r \ll \lambda$ (λ — довжина хвилі), антена може розглядатися як точкова. Простір, де ця умова виконується, називається *далекою зоною випромінювання* або *зоною Фраунгофера*. Тут напруженість поля змінюється обернено пропорційно до відстані. Характер змінювання напруженості поля істотно залежить від відстані R до передавача. Розрізняють близьку та далеку зони приймання сигналів. На практиці вважають, що межа далекої зони $R_{д.з}$ задовольняє таку рівність [60; 61]:

$$R_{д.з} = 2L^2/\lambda, \quad (4.32)$$

де L — максимальний розмір апертури антени. Для далекої зони хід променів становить менш як $\lambda/16$.

Межа *близької зони*, або *зони Релея*, визначається співвідношенням [73]

$$R_{б.з} \leq L^2/(2\lambda). \quad (4.33)$$

При $R \leq R_{б.з}$ напруженість поля слабко залежить від відстані. Для близької зони хід променів становить менш ніж $\lambda/4$. Якщо відстань R від антени задовольняє умову

$$R_{б.з} \leq R \leq R_{д.з}, \quad (4.34)$$

то напруженість поля швидко зменшується зі зростанням відстані. Ця зона називається *зоною Френеля* [61].

Зазвичай характеристики антен зазначають для далекої зони, хоча при розв'язуванні багатьох задач, наприклад коли йдеться про розрахунок умов внутрішньооб'єктової ЕМС чи визначення біологічної зони передавальної радіостанції (для якої мають виконуватися санітарні норми на рівень напруженості поля), доводиться використовувати відповідні характеристики антен і у близькій зоні. Так, у [60] показано, що відстань до далекої зони ПА із круглим дзеркалом діаметром d_a залежить від кута φ спостереження відносно головного напрямку випромінювання, і, наприклад, при $\varphi = 90^\circ$ маємо:

$$R'_{д.з} = 2d_a, \quad (4.35)$$

що дає істотно менше значення, ніж отримване за формулою

$$R_{д.з} = 2L/\lambda.$$

Важливо також зазначити, що характеристики електромагнітного поля в далекій зоні антени, де воно має сформований характер, не залежать від конструкції та типу антени а визначаються лише її діаграмою спрямованості.

4.3.1. Основні параметри антен

Коефіцієнт підсилення антени (КП) — відношення потужності, що підводиться до неспрямованої (ізотропної) антени з коефіцієнтом підсилення 1, до потужності, що підводиться до даної антени, за умови однакової напруженості поля в місці приймання.

У загальному випадку КП $g_{a \max}$ (у далекій зоні) у головному напрямі випромінювання чи приймання визначається (за нульових омічних втрат у елементах антени) співвідношенням, дБ:

$$g_{a \max} = 10 \lg(4\pi S_a / \lambda^2), \quad (4.36)$$

де S_a — ефективна площа антени, залежна від її типу та конструкції [10].

Для антен осьового випромінювання (директорні, спіральні) S_a має доволі складну залежність від відносної довжини антени [59]. У свою чергу, відносна довжина визначається кількістю директорів (у директорних антенах) або кількістю витків (у спіральних антенах), між якими встановлюється відстань порядку $(0,1 \dots 0,3)\lambda$. При цьому кількість вібраторів або витків спіралі в реальних антенах може коливатися від 3 до 30.

Для ПА значення S_a залежить від форми та розмірів дзеркала, а також від типу антени (одно- чи дводзеркальна, несиметрична тощо) і визначається співвідношенням

$$S_a = S_{dz} k_{в.п}, \quad (4.37)$$

де S_{dz} — площа розкриття основного дзеркала; $k_{в.п}$ — коефіцієнт використання поверхні апертури (КВП); для типових ПА значення $k_{в.п}$ становить $0,5 \dots 0,7$ [58].

Якщо відомі кутові розміри основного променя антени, то значення КП наближено можна обчислити за формулою

$$g_{a \max} \approx 10 \lg(44300 / (\varphi_{0,5x} \varphi_{0,5y})), \quad (4.38)$$

де $\varphi_{0,5x}$ і $\varphi_{0,5y}$ — ширина основного променя антени в градусах за половинною потужністю у взаємно ортогональних площинах [59].

Для близької зони КП можна оцінити за формулою [59]

$$g_{a \max} = 10 \lg(4\pi R^2 / S_a), \quad (4.39)$$

яка для ПА із круглою формою дзеркала набирає вигляду

$$g_{a \max} = 10 \lg(16R^2 / d_a). \quad (4.40)$$

Як впливає з (4.39) і (4.40), у близькій зоні КП залежить від відстані до точки спостереження (чого немає в далекій зоні), а саме значення КП істотно менше, ніж у далекій зоні, обчислене згідно з (4.36) або (4.38).

Діаграма спрямованості антени (ДСА) визначає кутовий розподіл амплітуд напруженості електричного поля антени $E(\varphi)$ у далекій зоні у двох взаємно ортогональних площинах за фіксованого віддалення [58]. Зазвичай ці площини вибирають так, щоб в одній із них розміщувався вектор \vec{E} електричного поля, а у другій — вектор \vec{H} магнітного поля.

Нехай $F^2(\varphi)$ — значення ДСА, дБ, під кутом спостереження φ , що утворюється напрямом від точки розміщення антени до точки спостереження та головним напрямом випромінювання (приймання) даної антени. Тоді, узявши до уваги, що ДСА нормується до максимальної інтенсивності

випромінювання, поширюваного в головному напрямі (тобто при $\varphi = 0$), дістанемо:

$$F^2(\varphi) = g_a(\varphi) - g_{a\max}, \quad (4.41)$$

де $g_a(\varphi)$ — КП антени, дБ, під кутом φ .

Іноді як ДСА зазначають залежності $g_a(\varphi)$ [63–65]. Слід пам'ятати, що будь-яка антена випромінює (приймає) електромагнітне поле не лише на основній поляризації, а й на ортогональній (крос-поляризації). При цьому ДСА на основній та крос-поляризації істотно різні.

Вигляд типових ідеалізованих ДСА у прямокутних координатах у двох площинах ілюструє рис. 4.14, де суцільна крива відповідає ДСА у площині основної поляризації, а пунктирна крива — ДСА у площині крос-поляризації.

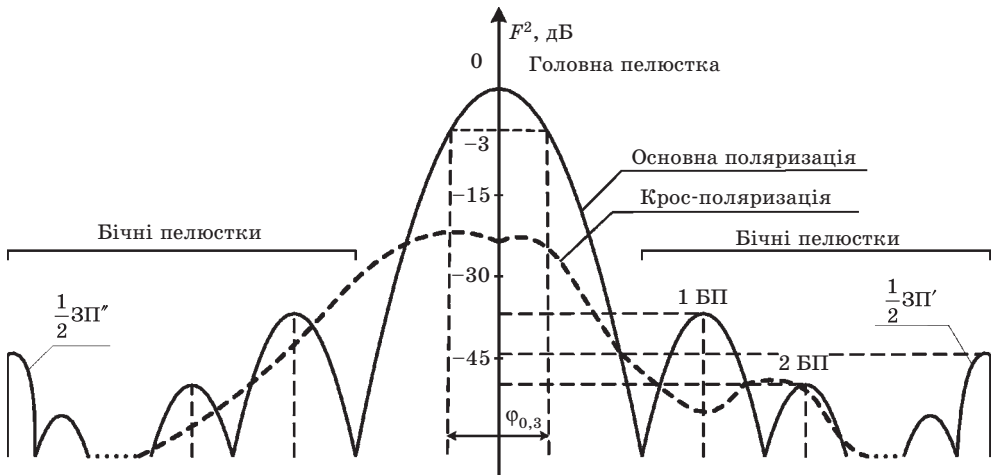


Рис. 4.14. Загальний вигляд ідеалізованих ДСА на основній поляризації (суцільна лінія) та крос-поляризації (пунктирна лінія) у прямокутних координатах

Основні параметри ДСА (див. на рис. 4.14) такі:

- головна пелюстка — частина ДСА, що міститься в секторі кутів $\varphi''_{01} < \varphi < \varphi'_{01}$, де φ''_{01} і φ'_{01} — кути, що відповідають першому нулю ДСА по різні боки від осі;

- $\varphi_{0,5}$ — ширина ДСА за половинною потужністю, тобто при $F^2(\varphi) = -3$ дБ;

- бічні пелюстки (БП) та кути $\varphi_{1БП}$, $\varphi_{2БП}$, ..., що відповідають максимумам однойменних БП;

- задня пелюстка (ЗП); кути φ_{01} , φ_{02} , φ_{03} , що відповідають нулям ДСА.

Зауважимо, що ДСА реальних антен мають значно складніший вигляд, ніж на рис. 4.14 [58; 60].

Так, реальні ДСА характеризуються асиметрією та візерунчатістю обвідної (рис. 4.15). До того ж, на форму ДСА впливають неточності й особливості конструкції антени, а також навколишні предмети, зокрема й поверхня землі [59; 64].

Для розрахунку умов ЕМС, особливо мережних структур радіозв'язку, необхідно мати у своєму розпорядженні повні залежності ДСА як на основній поляризації сигналу, так і на крос-поляризації.

Проте, зазначений вплив на параметри реальних антен елементів їхньої конструкції та навколишніх предметів змушує під час виконання розрахунків ЕМС вдаватися до усереднених математичних описів характеристик антен

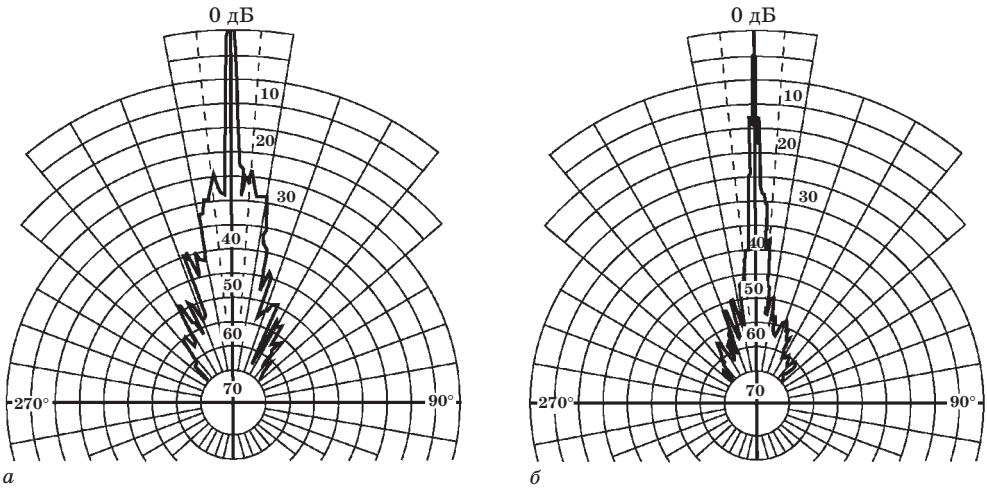


Рис. 4.15. Вигляд реальних ДСА на основній поляризації (а) та на крос-поляризації (б) у полярних координатах

РЕЗ, зокрема їхньої ДСА. Для цього на практиці широко використовуються так звані гарантовані обвідні ДСА у графічній або аналітичній формі, які є результатом апроксимації експериментальних ДСА реальних антен.

Щоб проілюструвати сказане, розглянемо наведену на рис. 4.16 апроксимацію реальної експериментальної ДСА за допомогою трьох простих аналітичних функцій: $F_1^2(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi$ у секторі кутів $0 < |\varphi| \leq 20^\circ$; $F_2^2(\varphi) = 32 - 25 \lg \varphi$ у секторі кутів $20^\circ < |\varphi| \leq 48^\circ$ і $F_3^2(\varphi) = -10$ дБ у секторі кутів $48^\circ < |\varphi| \leq 180^\circ$.

Важлива перевага гарантованих ДСА — їхній доволі простий вигляд (як графічний, так і аналітичний), а також те, що їх можна використовувати для різних типів антен, завдяки чому підвищується надійність результатів розрахунку умов ЕМС.

Зауважимо, що нині використовуються й складніші апроксимації [63], які, утім, не порушують головного — самого принципу апроксимації, що полягає в забезпеченні створення певних запасів у області БП (як це зображено на рис. 4.16).

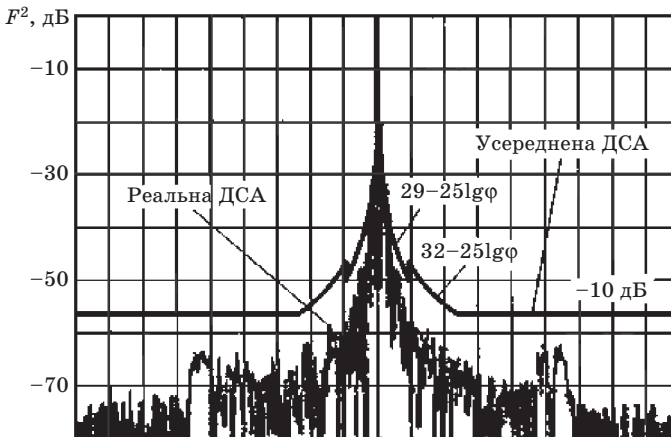


Рис. 4.16. Співвідношення реальної та усередненої ДСА

Щойно викладене унаочнюють рис. 4.17 і 4.18, де зображено головні пелюстки усереднених ДСА антени типу РПА-2П-2 на основній і крос-поляризації для частот 4 і 6 ГГц [60].

Гарантовані обвідні ДСА типу РПА-2П-2, застосовані в магістральних РРС [66], що враховують вплив на параметри ДСА робочої частоти сигналу та його поляризації, наведено на рис. 4.19 та 4.20.

Гарантовані обвідні ДСА типу АНК [17] зображено на рис. 4.21. Антена АНК являє собою неосьосиметричну однодзеркальну ПА з винесеним випромінювачем і має доволі високий (40 дБ) крос-поляризаційний захист порівняно зі звичайними ПА, в яких цей показник становить 25...30 дБ.

Зауважимо, що, як випливає з рис. 4.21, параметри ДСА (особливо в задньому півпросторі) істотно залежать від поляризації сигналу. Цей факт, вочевидь, зумовлений (так само, як і в антен типу РПА) асиметрією конструкції даної антени.

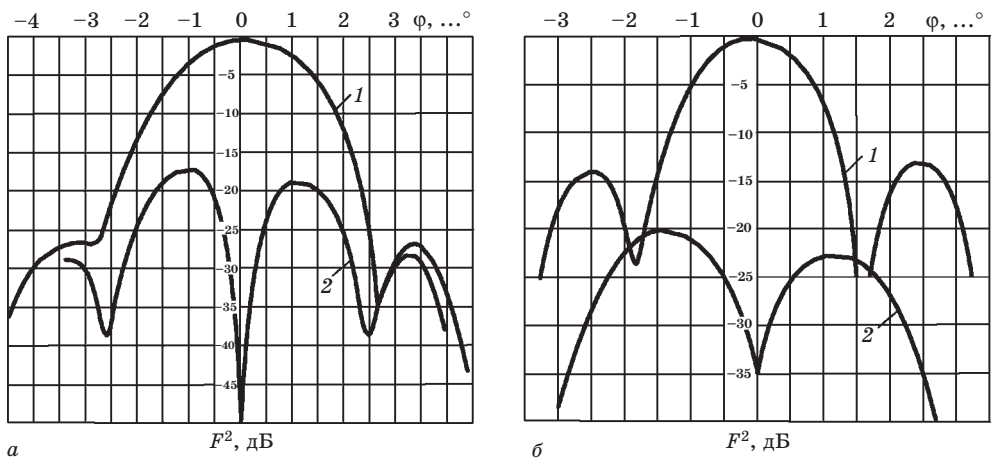


Рис. 4.17. Головні пелюстки ДСА антени РПА-2П-2 у діапазоні частот 4 ГГц для основної (1) та кросової (2) поляризації у разі вертикальної (а) та горизонтальної (б) поляризації сигналу

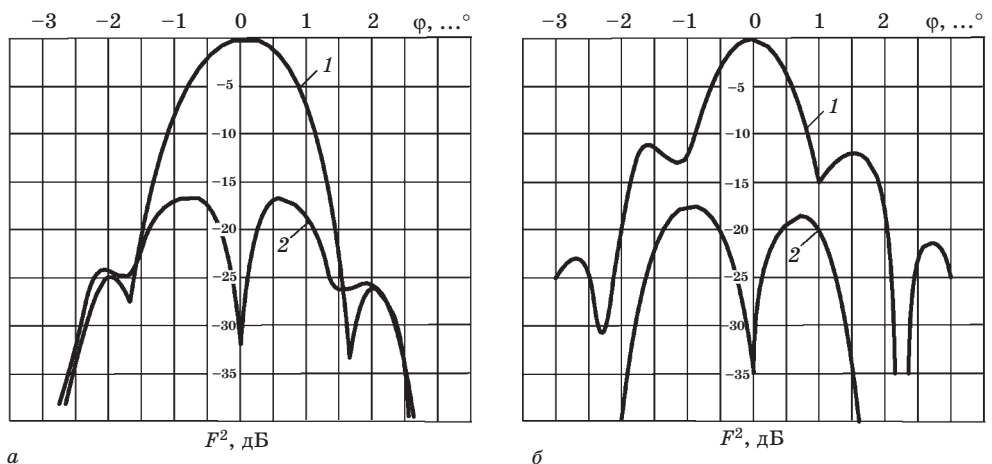
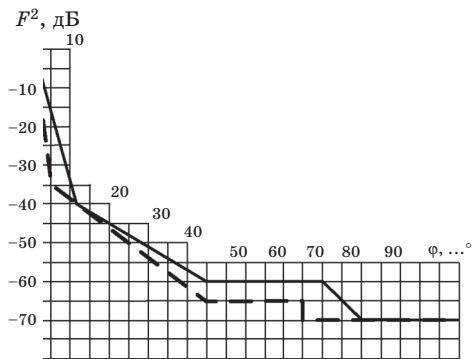
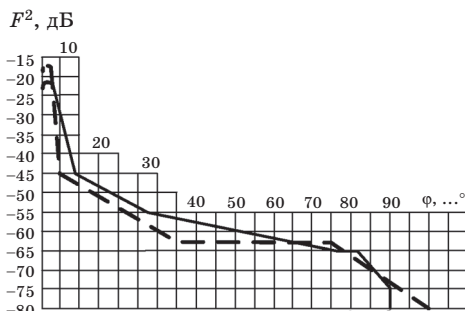


Рис. 4.18. Головні пелюстки ДСА антени РПА-2П-2 у діапазоні частот 6 ГГц на основній (1) та кросовій (2) поляризації у разі вертикальної (а) та горизонтальної (б) поляризації сигналу

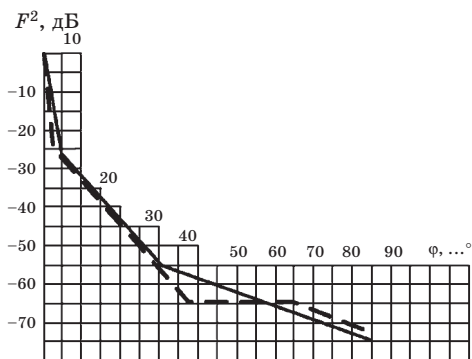


a

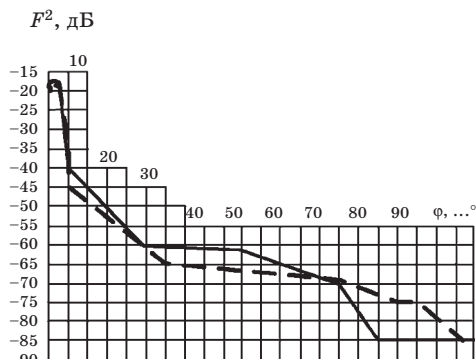


б

Рис. 4.19. Гарантовані обвідні ДСА антени РПА-2П-2 у горизонтальній площині на основній (*a*) та кросовій (*б*) поляризації (на обох зображеннях суцільний графік характеризує горизонтальну, а пунктирний — вертикальну поляризацію)

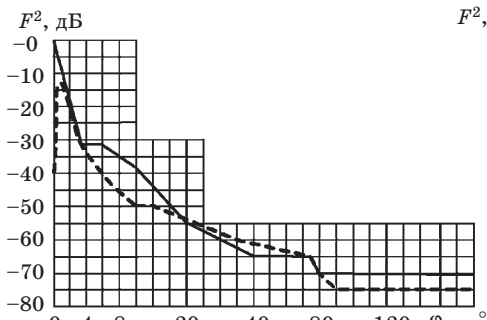


a

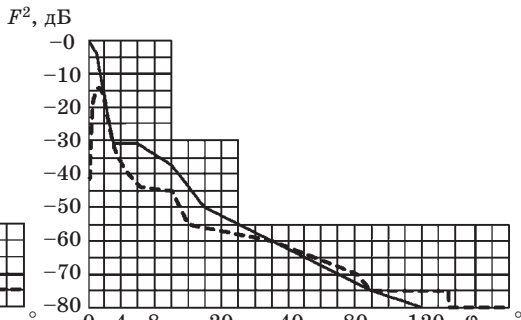


б

Рис. 4.20. Гарантовані обвідні ДСА антени РПА-2П-2 у горизонтальній площині в діапазоні частот 6 ГГц на основній (*a*) та кросовій (*б*) поляризації (на обох зображеннях суцільний графік характеризує горизонтальну, а пунктирний — вертикальну поляризацію)



a



б

Рис. 4.21. Гарантовані діаграми спрямованості антени типу АНК-1,5 у горизонтальній площині в діапазоні 11 ГГц на основній вертикальній (*a*) і горизонтальній (*б*) та кросовій поляризації (на обох зображеннях суцільні графіки характеризують крос-поляризацію)

Гарантовані обвідні БП параболічної антени типу АДЕ-5 (діаметр 5 м) на частотах 2 і 4 ГГц, які відповідають (4.41), наведено на рис. 4.22.

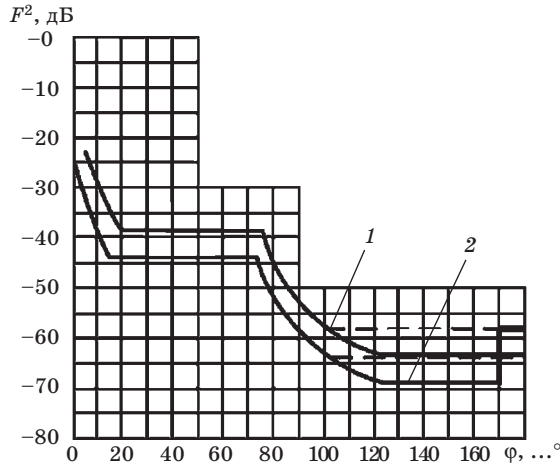


Рис. 4.22. Гарантовані обвідні діаграм спрямованості антени типу АДЕ-5 на частотах 2 ГГц (1) і 4 ГГц (2) (суцільні лінії відповідають вертикальній, а пунктирні — кросовій поляризації)

Можна відзначити дещо інший характер цих ДСА порівняно з ДСА інших типів антен, про які йшлося раніше. Зокрема, одна з особливостей цих ДСА — наявність чітко вираженої ЗП, яка на 5 дБ перевищує рівень БЛ у секторі кутів 125...170°.

Для цього типу антен існують дані щодо гарантованих ДСА, в яких ЗП не виражена [76] за рахунок того, що рівень ДСА в секторі кутів 100...170° зазначається приблизно на 5 дБ більший (пунктирні лінії на рис. 4.22).

Крос-поляризаційний захист антени — послаблення поля перехресної поляризації (крос-поляризованої хвилі) — кількісно визначається коефіцієнтом поляризаційного захисту

$$XPD_a(\varphi) = g_{a.o.p.} - g_{a.k.p.}(\varphi), \quad (4.42)$$

де $g_{a.o.p.}(\varphi)$, $g_{a.k.p.}(\varphi)$ — КП антени відповідно на основній і кросовій поляризації.

Залежність $XPD_a(\varphi)$ має складний характер, пов'язаний із конструктивними особливостями антен, а також із параметрами сигналу. При цьому для всіх типів антен максимум залежності $XPD_{a \max}$ спостерігається при $\varphi = 0$, тобто на головному напрямі приймання або поблизу осі ДСА. Для типових директорних і параболічних антен маємо $25 \text{ дБ} \leq XPD_{a \max} \leq 30 \text{ дБ}$, а для окремого типу антен, таких як РПА, відповідне значення може становити 40 дБ і більше [66–69].

Розглядаючи наведені раніше ДСА різних антен, доходимо висновку, що в області БП і ЗП ДСА зазвичай $XPD_a < 0$, тобто спостерігаються додаткові енергетичні втрати (або принаймні немає енергетичного виграшу) під час приймання завадних сигналів не на основній поляризації за межами основної пелюстки антени.

Коефіцієнт захисної дії $K_{з.д.}$, що характеризує різницю КП антени в головному напрямі та КП зі зворотного напрямі, подається у вигляді

$$K_{з.д.} = g_a(\varphi) - g_a(\varphi = 180^\circ). \quad (4.43)$$

Значення $K_{з.д}$ сучасних антен становлять 20...70 дБ [68–71]. Основні параметри ПА для робочої частоти 7 ГГц, отримані за матеріалами [69–71; 28], подано в табл. 4.7. Бачимо, що в разі забезпечення вищого значення $K_{з.д}$, коефіцієнт XPD істотно (від 25 до 40 дБ) зростає.

Таблиця 4.7

Основні параметри параболічних антен діапазону 7 ГГц

Тип характеристик антен	Діаметр, м	КП, дБ	Ширина ДСА, ...°	$K_{з.д}$, дБ	XPD , дБ
Стандартні	0,6	30,7	5	40	25...27
	1,2	36,9	2,3	50	25...27
	2,4	42,9	1,3	60	25...27
Поліпшені	0,6	30,7	5	43	27...30
	1,2	36,9	2,3	53	27...30
	2,4	42,9	1,3	64	27...30
Високі	0,6	30,7	5	60	30...32
	1,2	36,9	2,3	65	30...32
	2,4	42,9	1,3	72	30...32
Дуже високі	0,6	30,7	5	62	40
	1,2	36,9	2,3	68	40
	2,4	42,9	1,3	74	40

4.3.2. Нормування характеристик антен

При розрахунках ЕМС РЕЗ до найважливіших характеристик антен, що потребують нормування, належить ДСА як на основній, так і на кросовій поляризації. Нормування ДСА здійснюється для всіх видів РЕЗ загального призначення, а конкретні дані про нормування можна знайти в [58; 60; 62; 65–67]. При цьому нормування здійснюється і на міжнародному, і на національному (або корпоративному) рівні. В останньому випадку нормування характеристик антен має уточнювальний характер [58; 65–67]. Варто пам'ятати, що відповідні національні (корпоративні) нормативи мають узгоджуватися з міжнародними нормативами, які згідно з Регламентом радіозв'язку мають пріоритет.

Особливої актуальності нормування ДСА набуває для багатоканальних ширококутових засобів радіозв'язку (ЗРЗ), зокрема — супутникових (ССЗ) і радіорелейних систем зв'язку (РСЗ), які використовують спільні смуги робочих частот у УКХ діапазоні (головним чином у діапазоні частот 1...40 ГГц). Далі наводяться відомості про чинне нині нормування ДСА ССЗ і РСЗ. Зауважимо, що до РСЗ відносять радіорелейні лінії (РРЛ) прямої видимості та радіорелейні системи типу «точка-багатоточка» (ТБТ).

Для практичних розрахунків завад і розв'язання питань координації зазначених видів ЗРЗ у діапазоні частот 1...40 ГГц рекомендовано використовувати так звані еталонні (довідкові) ДСА, які встановлюють припустимі значення обвідної ДСА, тобто такі, які не повинні перевищуватися в разі застосування реальних антен [14; 15; 18].

Еталонні ДСА для РРЛ прямої видимості в діапазоні 1...40 ГГц (параболічні антени) визначаються наведеними далі співвідношеннями, здобутими на основі співвідношень, які містяться в [62] у вигляді аналітичних залежностей $g_a(\varphi)$.

Якщо відношення діаметра d_a антени до робочої довжини хвилі λ перевищує 100, то мають застосовуватися такі рівняння (рис. 4.23; усі кути тут і далі подаються у градусах):

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -2,5 \cdot 10^{-3} (d_a \varphi / \lambda)^2, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq \varphi_m; \\ g_{a1} - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi_m \leq \varphi \leq \varphi_r; \\ 32 - 25 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi_r \leq \varphi \leq 48^\circ; \\ 10 - g_{a \max}, & \text{якщо } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ, \end{cases} \quad (4.44)$$

де d_a і λ подано в однакових одиницях; $g_{a \max} = 7,7 + 20 \lg(d_a / \lambda)$ — КП антени; $g_{a1} = 2 + 15 \lg(d_a / \lambda)$ — КП першої БП;

$$\varphi_m = 20 \lambda \sqrt{g_{a \max} - g_{a1}} / d_a;$$

$$\varphi_r = 15,85 (d_a / \lambda)^{-0,6}.$$

Якщо відношення $d_a / \lambda \leq 100$, то потрібно використовувати такі рівняння:

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -2,5 \cdot 10^{-3} (d_a \varphi / \lambda)^2, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq \varphi_m; \\ g_{a1} - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi_m \leq \varphi \leq 100(\lambda / d_a); \\ 52 - 10 \lg(d_a \varphi / \lambda) - 25 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } 100(\lambda / d_a) \leq \varphi \leq 48^\circ; \\ 10 - 10 \lg(d_a \varphi / \lambda) - g_{a \max}, & \text{якщо } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ. \end{cases} \quad (4.45)$$

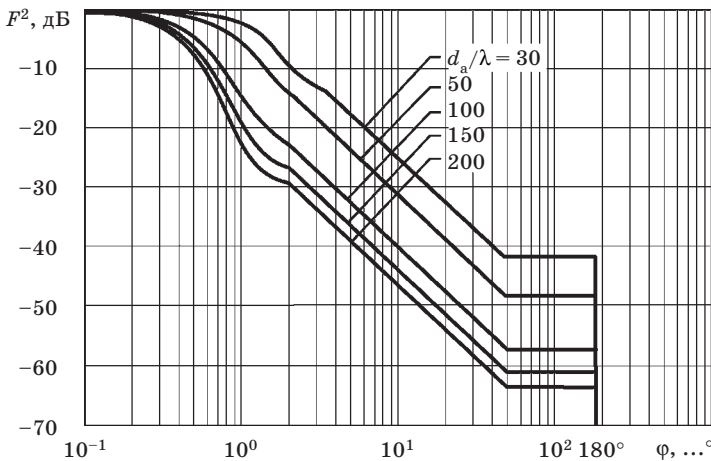


Рис. 4.23. Обвідні ДСА РРЛ у діапазоні частот 1...40 ГГц при різних значеннях відношення d_a / λ

Під час вивчення питань координації та в разі оцінювання взаємних завад між радіорелейними системами ТБТ і між станціями таких систем та іншими службами, що працюють у такій самій смузі частот у діапазоні 1...3 ГГц, рекомендовано еталонні ДСА, які наведено далі.

У разі, коли на станції ТБТ застосовується антена із всеспрямованою ДСА у горизонтальній площині або біля неї, то для оцінювання ДСА у вертикальній площині використовують таке рівняння:

$$F^2(\varphi) = \max\{g_{a1}(\varphi), g_{a2}(\varphi)\} - g_{a \max}. \quad (4.46)$$

Тут

$$g_{a1}(\varphi) = -12(\varphi/\varphi_{0,5})^2;$$

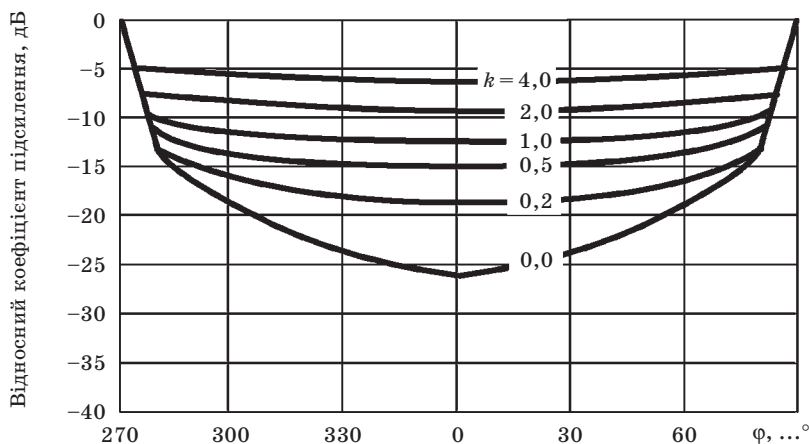
$$g_{a2}(\varphi) = -12 + 10 \lg [\max(\varphi/\varphi_{0,5}, 1)^{-1,5} + k],$$

де φ — кут у вертикальній площині відносно напрямку максимального підсилення антени, ...°; $\varphi_{0,5}$ — ширина ДСА у вертикальній площині,

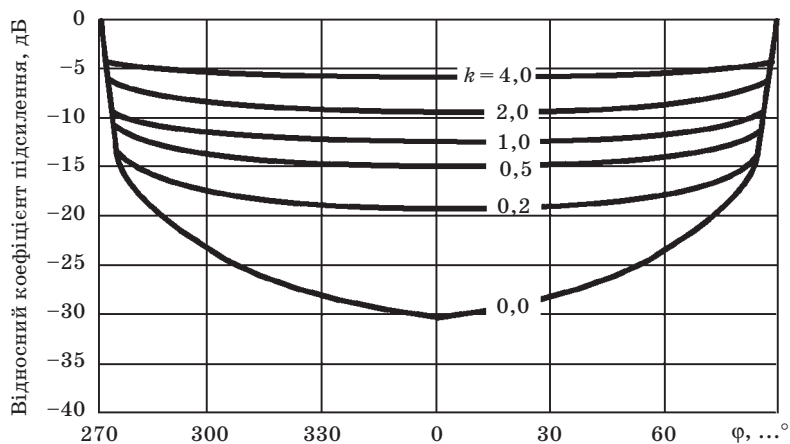
$$\varphi_{0,5} = 1 / \left\{ \left[\left(10^{0,1g_{a \max}} + 172,4 \right) / 191 \right]^2 - 0,818 \right\};$$

k — параметр, що враховує підвищені рівні БП порівняно з рівнем БП ідеальної антени (для типових антен $k = 1,5$, а для антен зі зменшеними рівнями БП значення $k = 0$); $g_{a \max}$ — максимальний КП антени, дБ, у горизонтальній площині або біля неї.

Проілюструємо сказане наведеними на рис. 4.24 діаграмами, які відповідають (4.46), для двох значень КП антени та різних значень параметра k .



а



б

Рис. 4.24. Еталонні діаграми спрямованості всеспрямованих антен радіорелейних систем ТБТ: а — $g_{a \max} = 10$ дБ; б — $g_{a \max} = 13$ дБ

Якщо на абонентських станціях (АС) систем ТБТ застосовуються антени з $g_{a \max} < 20$ дБ, то потрібно використовувати такі рівняння:

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -14(\varphi/\theta_{0,5})^2, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq \varphi_1; \\ -14, & \text{якщо } \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2; \\ -14 - 32 \lg(\varphi/\varphi_1), & \text{якщо } \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3; \\ -8 - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi_3 \leq \varphi \leq 180^\circ. \end{cases} \quad (4.47)$$

Еталонні ДСА супутникових систем фіксованих служб (ФССС) на міжнародному рівні визначаються Рекомендаціями ITU-R S.580 і S.465 [134, 135], згідно з якими 90% піків рівнів БП мають не перевищувати значень, що визначаються такими співвідношеннями [60]:

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} 29 - 25 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi_{\min} \leq \varphi \leq 20^\circ; \\ -3,5 - g_{a \max}, & \text{якщо } 20^\circ \leq \varphi \leq 26,3^\circ; \\ 32 - 25 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } 26,3^\circ \leq \varphi \leq 48^\circ; \\ -10 - g_{a \max}, & \text{якщо } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ. \end{cases} \quad (4.48)$$

У (4.48) параметр φ_{\min} визначається так:

$$\varphi_{\min} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 100(\lambda/d_a) \leq 1; \\ 100(\lambda/d_a), & \text{якщо } 100(\lambda/d_a) > 1. \end{cases}$$

Співвідношення (4.48) у графічній формі подано на рис. 4.25, де зображено також експериментальну ДСА (нижній графік) несосьоцентричної дводзеркальної ПА фірми «Vertex» (діаметром 2,4 м, що має в діапазоні 6 ГГц коефіцієнт підсилення порядку 42 дБ) [60].

Зауважимо, що, по-перше, ДСА даної антени відповідає нормам (Рекомендації МСЕ, причому із запасом (рис. 4.25), а по-друге еталонні ДСА (як МСЕ-Р, так і національні або корпоративні) передбачають певне перевищення припустимих значень. Наприклад, Рекомендаціями МСЕ, що визна-

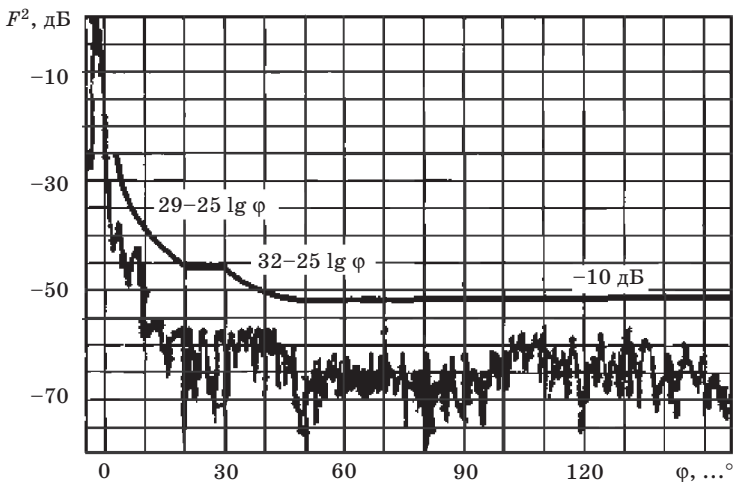


Рис. 4.25. Відповідність реальної обвідної ДСА ФССС еталонній ДСА, яку рекомендує МСЕ ($g_{a \max} = 42$ дБ)

чаються співвідношеннями (4.48), припускається перевищення припустимих значень на 10% .

Еталонні ДСА супутникової мовної служби, що діє у смугах частот 18/12 ГГц (СТМ-12), встановлено Планом ВАКР (спочатку ВАКР-77 було ухвалено 1977 року, а згодом уточнено). Варто зазначити, що істотним позитивом Плану є комплексний характер опрацювання нормативних показників СТМ, зокрема й еталонних ДСА [67]. При цьому еталонні ДСА нормують спрямовані властивості антен як на основній, так і на кросовій для всіх типів станцій СТМ. Планом передбачено застосування передавальних антен ЗС діаметром 5 м із підсиленням 57,4 дБ на частоті 17,55 ГГц.

Еталонні ДСА передавальних ЗС СТМ-12 визначаються згідно з такими співвідношеннями:

- для основної поляризації

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} 36 - 20 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } 0,1^\circ \leq \varphi < 0,32^\circ; \\ 51,3 - 53,2 \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } 0,32^\circ \leq \varphi < 0,54^\circ; \\ 29 - 25 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } 0,54^\circ \leq \varphi < 36^\circ; \\ -10 - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi \geq 36^\circ; \end{cases} \quad (4.49)$$

- для крос-поляризації

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -30, & \text{якщо } \varphi < 0,6/d_a \\ 9 - 20 \lg \varphi - g_{a \max}, & \text{якщо } 0,6/d_a \leq \varphi < 8,7^\circ; \\ -10 - g_{a \max}, & \text{якщо } \varphi \geq 8,7^\circ. \end{cases} \quad (4.50)$$

Графіки, що ілюструють співвідношення (4.49) і (4.50), наведено на рис. 4.26.

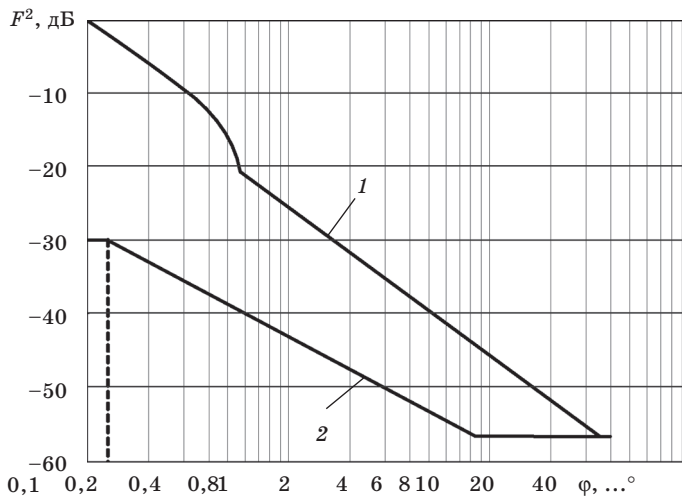


Рис. 4.26. Еталонні ДСА передавальних ЗС СТМ-12 при $g_{a \max} = 57,4$ дБ:
1 – основна поляризація; 2 – крос-поляризація; пунктирний перпендикуляр відповідає куту $\varphi = 0,6 / d_a$

У разі використання цих еталонних ДСА діють такі обмеження:

- для кутів $\varphi = 0,1 \dots 0,54^\circ$ рівні БП на основній поляризації мають не перевищувати значень еталонної ДСА;

● для кутів $\varphi = (0 \dots 0,06)/d_a$ рівні БП на крос-поляризації мають не перевищувати значень еталонної ДСА;

● для кутів $\varphi = 0,54 \dots 180^\circ$ на основній поляризації 90% піків БП мають не перевищувати значень еталонної ДСА.

Обвідні типових еталонних ДСА (передавальних і приймальних) космічних станцій (КС) СТМ-12 Районів 1 і 3:

● для основної поляризації

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -12(\varphi/\varphi_{0,5})^2, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 1,58\varphi_{0,5}; \\ -30, & \text{якщо } 1,58\varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 3,16\varphi_{0,5}; \\ -17,5 - 25 \lg(\varphi/\varphi_{0,5}), & \text{якщо } \varphi > 3,16\varphi_{0,5}^*; \end{cases} \quad (4.51)$$

● для крос-поляризації

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -40 - 40 \lg[(\varphi/\varphi_{0,5}) - 1], & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 0,33\varphi_{0,5}; \\ -33, & \text{якщо } 0,33\varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 1,67\varphi_{0,5}; \\ -40 - 40 \lg[(\varphi/\varphi_{0,5}) - 1], & \text{якщо } \varphi > 1,67\varphi_{0,5}^*; \end{cases} \quad (4.52)$$

* До рівня ізотропного випромінювання $F^2(\varphi) = -g_{a \max}$.

Планом ВАКР передбачено також еталонні ДСА (передавальних) КС СТМ-12 із підвищеною вибірністю, що визначаються такими виразами:

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -12(\varphi/\varphi_{0,5})^2, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 0,5\varphi_{0,5}; \\ -18,75\varphi_{0,5}^2(\varphi/\varphi_{0,5} - x)^2, & \text{якщо } 0,5\varphi_{0,5} \leq \varphi \leq x\varphi_{0,5} + 1,16; \\ -25,23, & \text{якщо } x\varphi_{0,5} + 1,16 \leq \varphi \leq 1,45\varphi_{0,5}; \\ -22 - 20 \lg(\varphi/\varphi_{0,5}), & \text{якщо } \varphi > 1,45\varphi_{0,5}, \end{cases} \quad (4.53)$$

де $x = 0,5(1 - 0,8/\varphi_{0,5})$.

Графіки, що відповідають співвідношенням (4.52) і (4.53) наведено на рис. 4.27 і 4.28.

Зауважимо, що в цьому разі еталонні ДСА залежать від параметра $\varphi_{0,5}$. Найменше значення цього параметра взято $\varphi_{0,5} = 0,8^\circ$, і при цьому ДСА з підвищеною вибірністю збігається з типовою ДСА (верхня крива на рис. 4.27).

Еталонні ДСА приймальних ЗС СТМ-12 у Районах 1 і 3:

а) на основній поляризації для індивідуальних ЗС

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 0,25\varphi_{0,5}; \\ -12(\varphi/\varphi_{0,5})^2, & \text{якщо } 0,25\varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 0,707\varphi_{0,5}; \\ -9 - 20\varphi_{0,5}^2(\varphi/\varphi_{0,5}), & \text{якщо } 0,707\varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 1,26\varphi_{0,5}; \\ -8,5 - 25\varphi_{0,5}^2(\varphi/\varphi_{0,5}), & \text{якщо } 1,26\varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 9,55\varphi_{0,5}; \\ -33, & \text{якщо } \varphi > 9,55\varphi_{0,5}, \end{cases} \quad (4.54)$$

де $\varphi_{0,5} = 2^\circ$;

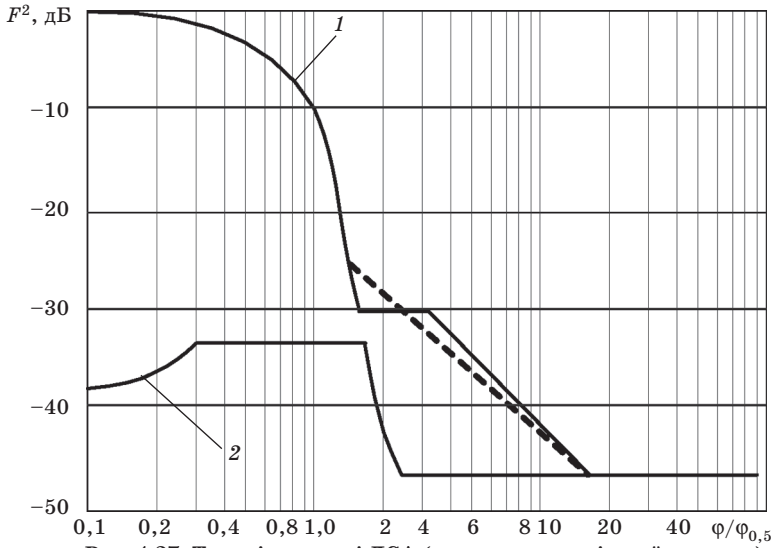


Рис. 4.27. Типові еталонні ДСА (передавальних і приймальних) космічних станцій СТМ-12 при $-g_{a \max}$: 1 — основна поляризація (Райони 1 і 3); 2 — крос-поляризація (Райони 1 і 3)

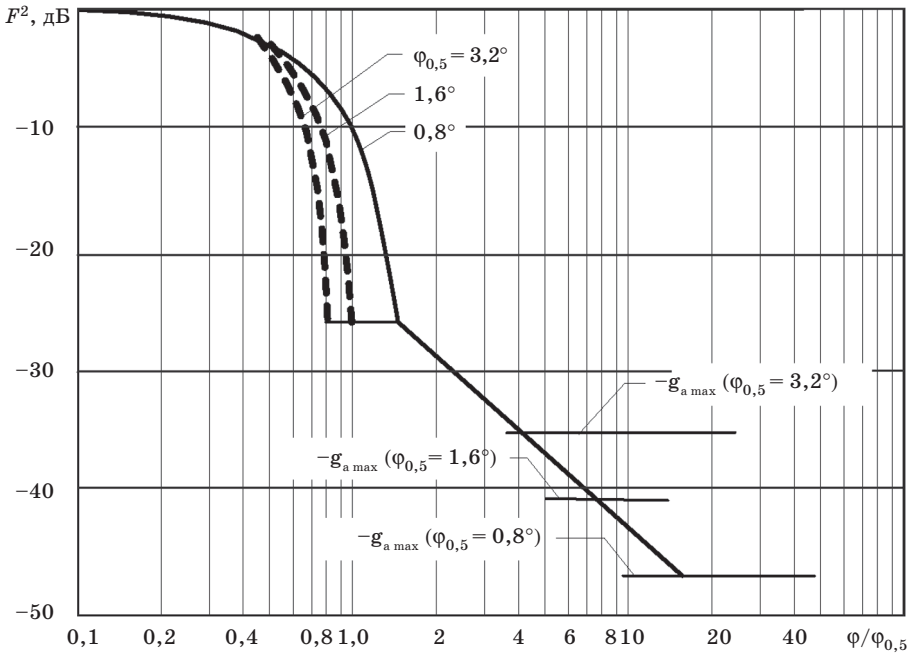


Рис. 4.28. Еталонні ДСА (передавальних) космічних станцій СТМ-12 із підвищеною вибірністю

б) для колективних ЗС (які мають діаметр антен понад 1,5 м)

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 0,25 \varphi_{0,5}; \\ -12(\varphi/\varphi_{0,5})^2, & \text{якщо } 0,25 \varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 0,86 \varphi_{0,5}; \\ -10,5 - 25 \lg(\varphi/\varphi_{0,5}), & \text{якщо } \varphi > 0,86 \varphi_{0,5}, \end{cases} \quad (4.55)$$

де $\varphi_{0,5} = 1^\circ$;

в) на крос-поляризації

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -25, & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 0,25 \varphi_{0,5}; \\ -30 - 10 \lg(\varphi/\varphi_{0,5} - 1), & \text{якщо } 0,25 \varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 0,44 \varphi_{0,5}; \\ -20, & \text{якщо } 0,44 \varphi_{0,5} \leq \varphi \leq 1,44 \varphi_{0,5}; \\ -30 - 25 \lg(\varphi/\varphi_{0,5} - 1), & \text{якщо } 1,44 \varphi_{0,5} < \varphi \leq 2 \varphi_{0,5}, \end{cases} \quad (4.56)$$

де $\varphi_{0,5} = 1^\circ$.

Графіки, що ілюструють співвідношення (4.54)–(4.56), наведено на рис. 4.29.

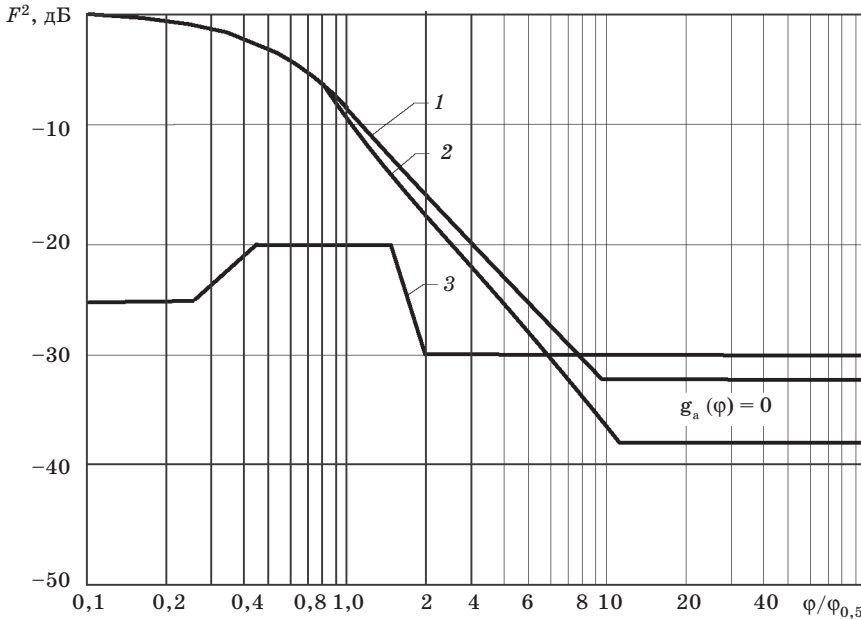


Рис. 4.29. Еталонні ДСА приймальних ЗС СТМ-12:

1 — індивідуальні ЗС у Районах 1 і 3 на основній поляризації; 2 — колективні ЗС у Районах 1 і 3 на основній поляризації; 3 — індивідуальні та колективні ЗС у Районах 1 і 3 на крос-поляризації

Обвідні ДСА базових (БС) та абонентських (АС) станцій систем безпроводового доступу (СБД) визначено у стандарті ETSI [73]. Антени БС можуть бути неспрямованими та секторними. Ширина сектору, що його обслуговує БС із секторною антеною, визначається кутом 20° ($15^\circ < \theta < 180^\circ$; для неспрямованих антен $\theta = 180^\circ$).

Залежність коефіцієнта підсилення антен БС від кутової ширини сектору обслуговування наведено на рис. 4.30.

Типові ДС антени БС на основній (суцільна лінія) та на кросовій (пунктирна лінія) поляризації наведено на рис. 4.31. Зазначимо, що різниця між кривими на рис. 4.31 визначає коефіцієнт поляризаційної розв'язки XPD_a .

Розміщення точок P_i та Q_i на рис. 4.31 задано значеннями, наведеними в табл. 4.8.

Діаграми спрямованості АС. Антени АС є спрямованими з коефіцієнтом підсилення 10 дБ [73].

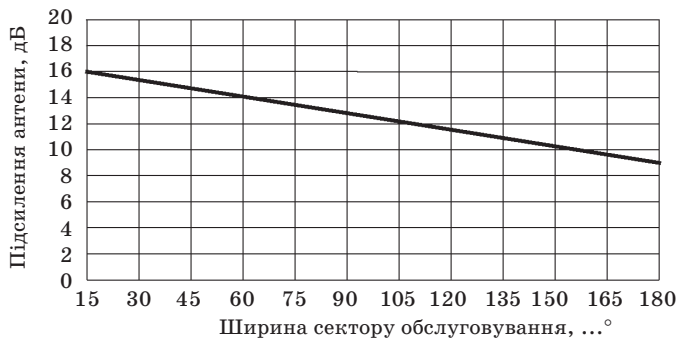


Рис. 4.30. Коефіцієнт підсилення антени базової станції СБД залежно від ширини сектору

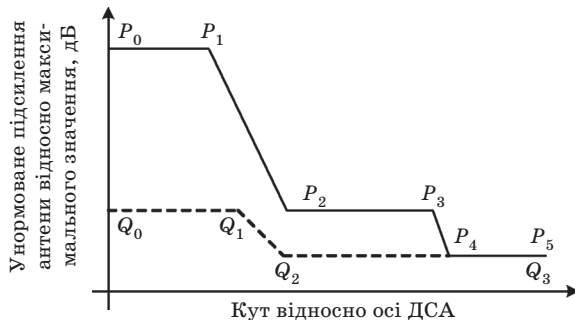


Рис. 4.31. Обвідна ДСА базової станції СБД

Таблиця 4.8

Значення величин на рис. 4.31

Точка	Кут ϕ , ... °	Відносне підсилення, дБ
Основна поляризація		
P_0	0	0
P_1	$\theta + 5$	0
P_2	$\theta + 63$	-20
P_3	153	-20
P_4	158	-25
P_5	180	-25
Крос-поляризація		
Q_0	0	-20
Q_1	$\theta + 27,5$	-20
Q_2	$\theta + 57,5$	-25
Q_3	180	-25

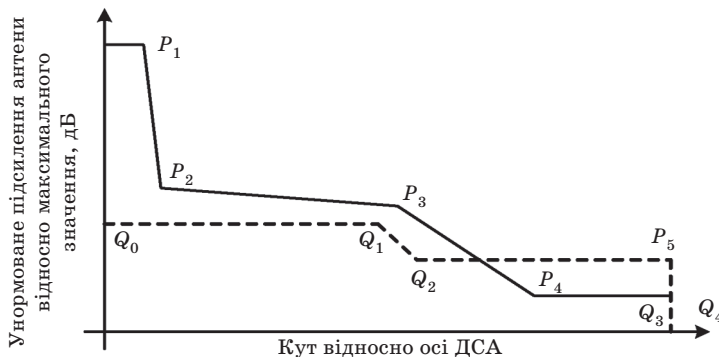


Рис. 4.32. Обвідна ДСА абонентської станції СБД

Типові ДСА абонентських станцій СБД на основній (суцільна лінія) та на кросовій (пунктирна лінія) поляризації наведено на рис. 4.32.

Розміщення точок P_i та Q_i на рис. 4.32 задано значеннями, наведеними в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Значення величин на рис. 4.32

Точка	Кут φ , ... °	Відносне підсилення, дБ
Основна поляризація		
P_0	0	0
P_1	8	0
P_2	20	-20
P_3	90	-22
P_4	150	-35
P_5	180	-35
Крос-поляризація		
Q_0	0	-25
Q_1	90	-25
Q_2	150	-35
Q_3	180	-35

ЗАДАЧІ

Задача 1. Визначити ширину B_{Π} присвоєної смуги частот для радіомовного передавача діапазону частот 9400...9900 кГц із класом випромінювання 8K00F3TGN.

Розв'язання. Діапазон частот 9400...9900 кГц належить (згідно з класифікацією діапазонів частот електромагнітних коливань) діапазону високих (3...30 МГц) частот.

Згідно з чинними нормами припустиме відхилення $\Delta f_{\text{прип}}$ робочої частоти радіомовних передавачів для діапазонів НЧ, СХ і ВЧ має не перевищувати ± 10 Гц.

З огляду на нестабільність частоти радіопередавачів ширина B_{Π} присвоєної смуги частот має перевищувати ширину $B_{\text{н}}$ необхідної смуги частот на подвійне значення абсолютного припустимого відхилення $\Delta f_{\text{прип}}$ робочої частоти:

$$B_{\Pi} = B_{\text{н}} + 2\Delta f_{\text{прип}},$$

де $B_{\text{н}} = 8,0$ кГц відповідно використовуваного класу випромінювання.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$B_{\Pi} = 8000 + 2 \cdot 10 = 8020 \text{ (Гц)}.$$

В і д п о в і д ь. Ширина присвоєної смуги частот становить 8020 Гц.

Задача 2. Визначити ширину B_{Π} присвоєної смуги частот для телевізійного передавача діапазону частот 174...230 МГц із класом випромінювання 7M63A3F.

Розв'язання. Діапазон частот 174...230 МГц належить (згідно з класифікацією діапазонів частот електромагнітних коливань) діапазону дуже високих (30...300 МГц) частот.

Згідно з чинними нормами припустиме відхилення $\Delta f_{\text{прип}}$ робочої частоти даного передавача для діапазону дуже високих частот має не перевищувати ± 100 Гц.

З урахуванням нестабільності частоти

$$B_{\Pi} = B_{\text{н}} + 2\Delta f_{\text{прип}},$$

де $B_{\text{н}} = 7,63$ МГц згідно з використовуваним класом випромінювання.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

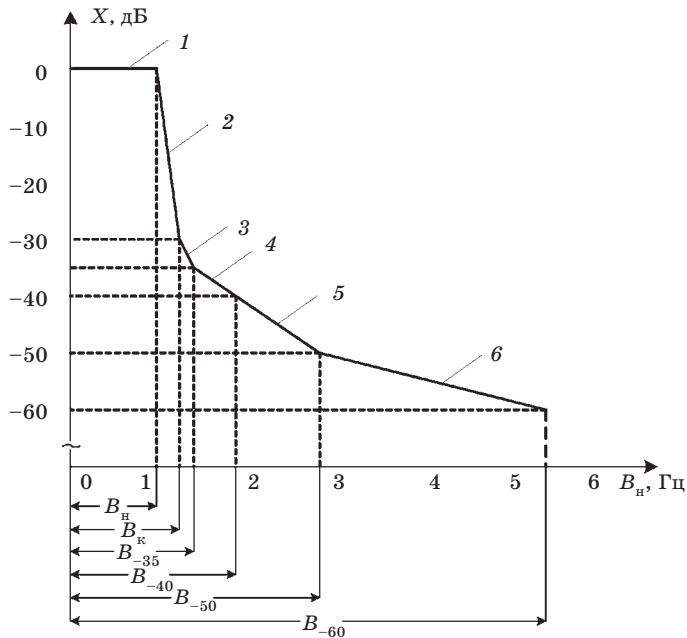
$$B_{\Pi} = 7630000 + 2 \cdot 100 = 7630200 \text{ (Гц)}.$$

В і д п о в і д ь. Ширина присвоєної смуги частот становить 7630200 Гц, або 7630,2 кГц.

Задача 3. Побудувати модель обвідної спектра потужності основного і позасмугового випромінювання радіопередавача фіксованої служби та визначити загасання потужності при розстроюваннях 3,24 і 4,05 кГц для сигналів класу 2K70J3E (телефонія, одна бічна смуга частот, подавлена носійна). Координати контрольних точок обмежувальної лінії спектра визначити, скориставшись наведеними в таблиці нормами на ширину смуги частот і позасмугові випромінювання.

Клас випромінювання	Необхідна ширина смуги частот B_H , Гц	Контрольна ширина смуги частот B_K , Гц	Позасмугові випромінювання на рівні X дБ	
			X	Ширина смуги B_x , Гц
J3F	$B_H = f_K - f_H$	$B_K = 1,15 B_H$	- 30	$1,15 B_H = B_K$
			- 35	$1,25 B_H = 1,09 B_K$
			- 40	$1,6 B_H = 1,39 B_K$
			- 50	$2,9 B_H = 2,52 B_K$
			- 60	$5,4 B_H = 4,7 B_K$

Розв'язання. Обмежувальну лінію спектра в разі виділення верхньої бічної смуги частот наведено на рисунку.



Модель обвідної радіовипромінювання класу J3E

Ділянка 1 обвідної по осі частот обмежена точками з координатами 0 і B_H . У межах цієї ділянки розподіл потужності $P(\Delta f) = 0$ дБ. Нахил обвідної обмежувальної лінії спектра $V_1 = 0$ дБ/дек.

Ділянка 2 обвідної обмежена точками з координатами $X_0 = 0$ дБ, $\Delta f_1 = B_H$, $X_K = -30$ дБ, $\Delta f_2 = B_K = 1,15 B_H$.

Швидкість зміни (крутість нахилу) обвідної на цій ділянці визначаємо підставленням координат граничних точок у рівняння:

$$V_i = (P(\Delta f_{i+1}) - P(\Delta f_i)) / \lg(\Delta f_{i+1} / \Delta f_i).$$

При цьому маємо

$$V_2 = (X_K - X_0) / \lg(B_K / B_H) = -30 \lg 1,15 = -500 \text{ (дБ/дек)}.$$

Оскільки

$$P(\Delta f) = P(\Delta f_i) + V_i \lg \left(\frac{\Delta f}{\Delta f_i} \right),$$

рівняння обвідної на другій ділянці набирає вигляду

$$P(\Delta f) = -500 \lg(\Delta f / B_H) \text{ при } B_H \leq \Delta f \leq 1,15 B_H.$$

Ділянка 3 обвідної обмежена точками з координатами

$$X_K = -30 \text{ дБ}, B_K = 1,15 B_H \text{ і } X_1 = -35 \text{ дБ}, B_{-35} = 1,25 B_H.$$

Крутість нахилу обвідної на цій ділянці

$$V_3 = (X_1 - X_K) / \lg(B_{-35} / B_K).$$

Рівняння для обвідної на цій ділянці таке:

$$P(\Delta f) = P(B_K) + V_3 \lg\left(\frac{\Delta f}{B_K}\right) = -30 - 135 \lg\left(\frac{\Delta f}{1,15 B_H}\right) = -22 - 135 \lg\left(\frac{\Delta f}{B_H}\right)$$

за умови $1,15 B_H \leq \Delta f \leq 1,25 B_H$.

Виконавши аналогічні обчислення для ділянок 4, 5, 6 обвідної та об'єднавши рівняння окремих ділянок, дістаємо модель спектра потужності основного та позасмугового випромінювання класу J3E (див. рисунок):

$$P(\Delta f) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } |\Delta f| \leq B_H, \\ -500 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } B_H \leq |\Delta f| \leq 1,15 B_H, \\ -22 - 135 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } 1,15 B_H \leq |\Delta f| \leq 1,25 B_H, \\ -30,6 - 47 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } 1,25 B_H \leq |\Delta f| \leq 1,6 B_H, \\ -32 - 39 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } 1,6 B_H \leq |\Delta f| \leq 2,9 B_H, \\ -33 - 37 \lg(\Delta f / B_H), & \text{якщо } 2,9 B_H \leq |\Delta f| \leq 5,4 B_H. \end{cases}$$

Для використовуваного класу випромінювання 2K70J3E маємо $B_H = 2,7$ кГц, а при розстроюванні $\Delta f = 3,24$ кГц дістаємо

$$\frac{\Delta f}{B_H} = \frac{3,24}{2,7} = 1,2.$$

Отже, для $\Delta f = 1,2 B_H$ скористаємося рівнянням розподілу потужності на ділянці 3

$$\begin{aligned} P(\Delta f) &= -22 - 135 \lg(\Delta f / B_H) = -22 - 135 \lg 1,2 = -22 - 135 \cdot 0,079 = \\ &= -22 - 10,7 = -32,7 \text{ (дБ)}. \end{aligned}$$

При розстроюванні $\Delta f = 4,05$ кГц

$$\frac{\Delta f}{B_H} = \frac{4,05}{2,7} = 1,5.$$

У цьому разі скористаємося рівнянням розподілу потужності на ділянці 4

$$\begin{aligned} P(\Delta f) &= -30,6 - 47 \lg\left(\frac{\Delta f}{B_H}\right) = -30,6 - 47 \lg 1,5 = \\ &= -30,6 - 47 \cdot 0,18 = -30,6 - 8,3 = -38,9 \text{ (дБ)}. \end{aligned}$$

В і д п о в і д ь. Загасання потужності при розстроюванні 3,24 і 4,05 кГц становить відповідно -32,7 і -38,9 дБ.

Задача 4. Для використовуваного класу випромінювання 2К70J3Е (телефонія, одна бічна смуга частот, подавлена носійна) визначити значення розстроювання, за межами якого отримувана радіопередавачем потужність становитиме 1% від середньої потужності на присвоєній їй частоті. Рівняння розподілу потужності для цієї ділянки розстроювання подається у вигляді

$$P(\Delta f) = 33 - 37 \lg \left(\frac{\Delta f}{B_H} \right).$$

Розв'язання. Щоб задовольнити умову, за якої поза займаною смугою радіочастот випромінювана радіопередавачем потужність становитиме 1% від середньої потужності на присвоєній частоті, необхідно забезпечити нижній рівень вимірюваної потужності не менш $|-60|$ дБ.

Тоді маємо рівняння $P(\Delta f) = 33 + 37 \lg \left(\frac{\Delta f}{B_H} \right) = 60$.

Звідси знаходимо

$$\lg \left(\frac{\Delta f}{B_H} \right) = \frac{27}{37} = 0,73.$$

Виконавши обчислення, дістанемо:

$$\Delta f = 5,37 B_H = 5,37 \cdot 2,7 = 14,499 \text{ (кГц)}.$$

В і д п о в і д ь. Значення розстроювання становить 14,499 кГц.

Задача 5. Визначити послаблення рівня потужності 2-ї гармоніки від-носно рівня основного випромінювання для радіопередавача з вихідною потужністю $P = 10$ Вт (10 дБВт), який працює на частоті 51-го каналу діапазону.

Розв'язання. Середнє значення рівня потужності випромінювання, дБВт, на частоті n -ї гармоніки подається у вигляді

$$P_r(f_n) = P_0(f_0) + V_r \lg n + A_r, \quad n \geq 2,$$

де $P_0(f_0)$ — рівень потужності основного випромінювання, дБВт; V_r — коефіцієнт, який характеризує швидкість спадання спектра, дБ/дек; A_r — послаблення випромінювання на гармоніці відносно основного, дБ.

Скористаємося наведеною далі таблицею усереднених експериментальних результатів вимірювань для радіопередавачів різних діапазонів хвиль.

Діапазон частот, МГц	V_r , дБ/дек	A_r , дБ
Менш як 30	-70	-20
30...300	-80	-30
Понад 300	-60	-40

Для розглядуваного випадку ($n = 2$) дістаємо:

$$P_r(f_n) = 10 - 60 \lg 2 - 40 = 10 - 18 - 40 = -48 \text{ (дБВт)}.$$

Послаблення рівня потужності 2-ї гармоніки відносно рівня потужності основного випромінювання 10 дБВт дорівнює 58 дБ.

В і д п о в і д ь. Послаблення рівня потужності гармоніки становить 58 дБ.

Задача 6. Визначити рівень потужності шумового випромінювання при відстроюванні на 5 МГц від частоти основного випромінювання для широкодіапазонного телевізійного передавача з вихідною потужністю 15 Вт (11,8 дБВт) діапазону частот 174...230 МГц із класом випромінювання 7М63А3F і значенням нижнього рівня вимірюваної потужності 60 дБ у смузі 41,2 МГц.

Розв'язання. Для кількісного визначення потужності $P_{\text{ш}}$ шумового випромінювання даного передавача при відстроюванні від частоти f основного випромінювання використовуємо такий вираз:

$$P_{\text{ш}}(\Delta f) = P_0(f_0) - V_{\text{ш}} \lg\left(\frac{2\Delta f}{B_{\text{зм}}}\right) + A_{\text{ш}},$$

де $V_{\text{ш}}$ — швидкість спадання рівня шумового випромінювання, дБ/дек; $A_{\text{ш}}$ — послаблення в займаній смузі $B_{\text{зм}}$ потужності шумового випромінювання відносно основного, дБ.

Для широкодіапазонних передавачів $V_{\text{ш}} = 3$ дБ/дек, а $A_{\text{ш}} = -60$ дБ.

Ширина $B_{\text{зм}}$ займаної смуги визначається нижнім рівнем вимірюваної потужності й дорівнює 41,2 МГц.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$\begin{aligned} P_{\text{ш}}(\Delta f) &= 11,8 \text{ дБВт} - 3 \lg\left(\frac{20}{41,2}\right) \text{ дБ} - 60 \text{ дБ} = 11,8 \text{ дБВт} - 3 \lg 0,4854 \text{ дБ} - 60 \text{ дБ} = \\ &= 11,8 \text{ дБВт} - 3(-0,31) \text{ дБ} - 60 \text{ дБ} = 11,8 \text{ дБВт} + 0,93 \text{ дБ} - 60 \text{ дБ} = -47,3 \text{ дБВт}. \end{aligned}$$

В і д п о в і д ь. Рівень потужності шумового випромінювання становить -47,3 дБВт (1,86 мкВт).

Задача 7. Визначити припустимий рівень побічних випромінювань для передавача космічної служби із сумарною середньою потужністю 20 Вт, зазначивши при цьому контрольну смугу.

Розв'язання. Згідно з таблицею, що містить норми на побічні випромінювання для передавачів космічної служби, установлені Регламентом радіозв'язку (Т1 МСЕ, 1990, Додаток 3), послаблення A , дБ, побічних випромінювань порівняно з потужністю, підведеною до фідера антени, має бути не нижчим за $43 + 10 \lg P$ або 60 дБс — залежно від того, яка межа менш строга (P — середня потужність, яка підводиться до фідера антени; дБс — децибелі відносно середньої потужності немодульованої носійної випромінювання).

За відсутності носійної, наприклад у деяких цифрових схемах модуляції, коли носійна недосяжна для випромінювання, еквівалент контрольного рівня в дБс відповідає децибелам відносно середньої потужності P .

За наведеною щойно формулою визначаємо:

$$A = 43 + 10 \lg 20 = 43 + 13 = 56 \text{ (дБ)}.$$

Беремо менш строгу межу 56 дБ.

Отже, припустимий рівень побічних випромінювань у діапазоні частот від 9 кГц до 110 ГГц має не перевищувати 50 мкВт, або -43 дБВт.

В і д п о в і д ь. Припустимий рівень побічних випромінювань становить -43 дБВт (50 мкВт), при цьому за контрольну смугу взято 4 кГц.

Задача 8. Визначити припустимий рівень побічних випромінювань для передавача телевізійного мовлення 5-го діапазону із сумарною середньою потужністю 5 кВт, зазначивши при цьому контрольну смугу частот.

Розв'язання. Згідно з табл. 4.4 будь-який передавач цифрового мовлення має відповідати послабленню побічного випромінювання на $43 + 10\lg P$ або 70 дБс — залежно від того, яка межа менш строга.

При сумарній середній потужності 5 кВт визначаємо:

$$43 + 10\lg P = 43 + 10\lg 5000 = 43 + 37 = 80 \text{ (дБс)}.$$

Межа 70 дБс менш строга, ніж 80 дБс, тому використовуємо значення 70 дБс.

Частота 5-го діапазону телевізійного мовлення належить 2-му діапазону частот (87,5...108 МГц) і становить 96 МГц. Для вимірювання побічних випромінювань у частотному діапазоні 30...1000 МГц Рекомендація 329-7 передбачає використання контрольної смуги частот 100 кГц.

В і д п о в і д ь. Побічні випромінювання мають не перевищувати 70 дБс, або, якщо виконати перетворення до абсолютного рівня, вони мають не перевищувати $37 \text{ дБВт} - 70 \text{ дБВт} = -33 \text{ дБВт}$ (500 мкВт), коли контрольна смуга частот становить 100 кГц.

Задача 9. Визначити припустимий рівень побічних випромінювань для передавача мобільного зв'язку GSM діапазону частот 900 МГц із сумарною середньою потужністю 100 Вт, зазначивши при цьому контрольну смугу частот.

Розв'язання. Згідно з табл. 4.4 будь-який передавач мобільного зв'язку GSM, що належить до категорії «Усі служби», має відповідати послабленню побічного випромінювання на $43 + 10\lg P$ або 70 дБс — залежно від того, яка межа менш строга.

При сумарній середній потужності 100 Вт визначаємо:

$$43 + 10\lg P = 43 + 10\lg 100 = 43 + 20 = 63 \text{ (дБс)}.$$

Межа 63 дБс менш строга, ніж 70 дБс, тому використовуємо значення 63 дБс.

Робоча частота передавача 900 МГц належить діапазону 30...1000 МГц, тому згідно з Рекомендацією 329-7 контрольна смуга частот становить 100 кГц.

В і д п о в і д ь. Побічні випромінювання мають не перевищувати 63 дБс у смузі частот 1 МГц, або, якщо виконати перетворення до абсолютного рівня, вони мають не перевищувати $20 \text{ дБВт} - 63 \text{ дБВт} = -43 \text{ дБВт}$ (50 мкВт), коли контрольна смуга частот становить 100 кГц.

Задача 10. Визначити припустимий рівень побічних випромінювань для передавача телекомунікаційної системи стандарту 802-16 діапазону частот 3,4...3,7 ГГц із сумарною середньою потужністю 10 Вт, зазначивши при цьому контрольну смугу частот.

Розв'язання. Згідно з табл. 4.4 будь-який передавач телекомунікаційної системи широкосмугового радіодоступу стандарту 802-16, що належить до категорії «Усі служби», має відповідати послабленню побічного випромінювання на $43 + 10\lg P$ або 70 дБс — залежно від того, яка межа менш строга.

При сумарній середній потужності 10 Вт дістаємо:

$$43 + 10\lg P = 43 + 10\lg 10 = 43 + 10 = 53 \text{ (дБс)}.$$

Межа 53 дБс менш строга, ніж 70 дБс, тому використовуємо значення 53 дБс.

Оскільки робочий діапазон 3,4...3,7 ГГц розглядуваного передавача перевищує 1 ГГц, то згідно з Рекомендацією 329-7 контрольна смуга частот становить 1 МГц.

В і д п о в і д ь. Побічні випромінювання мають не перевищувати 53 дБс, або, якщо виконати перетворення до абсолютного рівня, вони мають не перевищувати 10 дБВт – 53 дБВт = –43 дБВт (50 мкВт), коли контрольна смуга частот становить 1 МГц.

Задача 11. Визначити значення побічних каналів приймання за таких умов:

частота сигналу — 11780 МГц;

частота гетеродина — 10800 МГц.

Розв'язання. До побічних належать небажані канали приймання, номінальні частоти яких мають фіксоване значення для даного приймача в разі фіксованого його настроювання на частоту f_0 основного каналу приймання:

$$f_0 = f_\Gamma + f_{\text{пр}},$$

де f_Γ — частота гетеродина; $f_{\text{пр}}$ — проміжна частота.

До побічних належать канали приймання на таких частотах:

● на проміжній частоті $f_{\text{пр}} = f_0 - f_\Gamma$;

● на дзеркальній частоті $f_{\text{дз}} = f_\Gamma - f_{\text{пр}}$;

● на комбінаційних частотах $f_{\text{к}} = 2f_\Gamma \pm f_{\text{пр}}$;

● на субгармоніках частоти настроювання $f_{\text{с.0}} = 0,5 (f_\Gamma + f_{\text{пр}})$;

● на субгармоніках дзеркальної частоти $f_{\text{с.дз}} = 0,5 (f_\Gamma - f_{\text{пр}})$.

Виконуючи відповідні обчислення, дістаємо:

$$f_{\text{пр}} = f_0 - f_\Gamma = 11720 - 10800 = 920 \text{ МГц};$$

$$f_{\text{дз}} = f_\Gamma - f_{\text{пр}} = 10800 - 920 = 9880 \text{ МГц};$$

$$f_{\text{к}} = 2f_\Gamma \pm f_{\text{пр}} = 2 \cdot 10800 \pm 920 = 22520 \text{ (20680) МГц};$$

$$f_{\text{с.0}} = 0,5 (f_\Gamma + f_{\text{пр}}) = 0,5(10800 + 920) = 5860 \text{ МГц};$$

$$f_{\text{с.дз}} = 0,5 (f_\Gamma - f_{\text{пр}}) = 0,5(10800 - 920) = 4940 \text{ МГц};$$

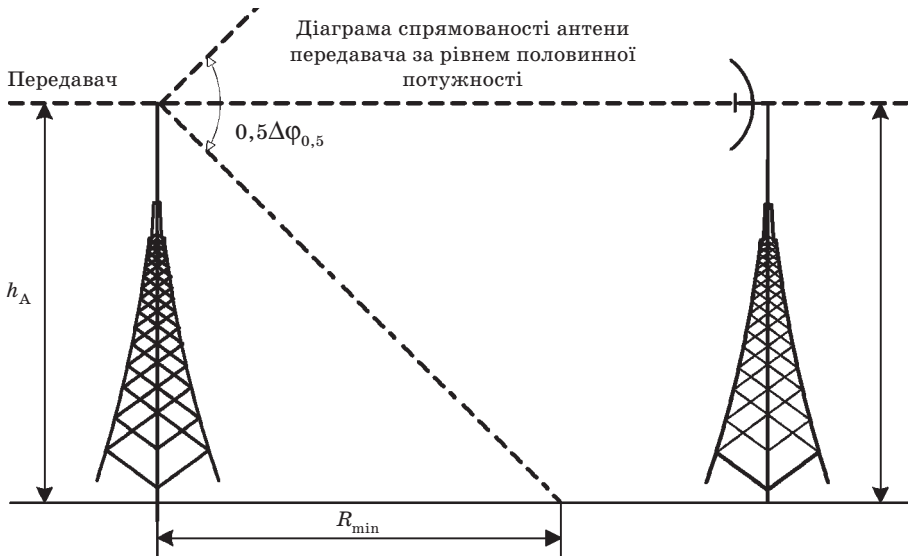
В і д п о в і д ь. Частоти побічних каналів приймання становлять відповідно 920; 4940; 5860; 9880; 20680; 22520 МГц.

Задача 12. Обчислити відстань, на якій головна пелюстка діаграми спрямованості параболічної дзеркальної антени передавача радіорелейної станції, який працює на частоті 8680 МГц, починає «дотикатися» до поверхні Землі, коли відомо, що діаметр дзеркала дорівнює 0,6 м, а висота h_A підвішування антени становить 40 м. Кривину поверхні Землі можна не враховувати, вважаючи її плоскою.

Розв'язання. Відстань R_{min} , на якій головна пелюстка антени починає «дотикатися» до поверхні Землі, визначається, як бачимо з рисунка, за формулою

$$R_{\text{min}} = h_A \text{ctg } 0,5 \Delta\varphi_{0,5},$$

де $\Delta\varphi_{0,5}$ — ширина діаграми спрямованості за половиною потужністю.



Для антен з круглою апертурою діаметра D_A ширина діаграми спрямованості визначається за формулою

$$\Delta\varphi_{0,5} \approx 70 \lambda / D_A,$$

а коефіцієнт підсилення антени

$$G_A = K_{в.п} \pi^2 D_A^2 / \lambda^2,$$

де $K_{в.п}$ — коефіцієнт використання поверхні її апертури.

Виконуючи відповідні обчислення, знаходимо значення шуканого кута, ...°:

$$\Delta\varphi_{0,5} = \frac{70 \cdot 3,46}{60} \approx 4, \text{ що дорівнює близько } 0,07 \text{ рад.}$$

Остаточно маємо:

$$R_{\min} = h_A \operatorname{ctg} 0,5 \Delta\varphi_{0,5} \approx 100 \cdot \frac{1}{0,035} \approx 2857 (\text{м}).$$

В і д п о в і д ь. Відстань становить 2857 м.

Задача 13. Для параболічної антени з круглою формою дзеркала діаметром 0,6 м на середній частоті робочого діапазону 11,7...12,5 ГГц визначити такі параметри:

- 1) межу далекої зони (зони Фраунгофера);
- 2) межу близької зони (зони Релея);
- 3) межу зони Френеля;
- 4) коефіцієнт підсилення в головному напрямі;
- 5) коефіцієнт підсилення на межі близької зони.

Вважати, що коефіцієнт $K_{в.п}$ використання поверхні апертури антени дорівнює 1) 0,7; 2) 0,5.

Розв'язання.

1) Межа далекої зони (зони Фраунгофера) визначається за формулою

$$R_{д.з} = \frac{2L^2}{\lambda},$$

де L — максимальний розмір апертури антени; λ — довжина хвилі випромінювання або приймання.

У нашому випадку $L = D = 0,6$ м, де D — діаметр дзеркала антени;

$$\lambda = 2,48 \text{ см} = 0,0248 \text{ м}.$$

Підставивши в дану формулу відповідні значення, дістанемо:

$$R_{\text{д.з}} = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,36}{0,0248} = 29,0 \text{ (м)}.$$

2) Межа близької зони (зони Релея) визначається за формулою

$$R_{\text{б.з}} = \frac{L^2}{2\lambda}.$$

Для розглядуваного випадку

$$R_{\text{б.з}} = \frac{D^2}{2\lambda} = \frac{0,36}{2 \cdot 0,0248} = 7,3 \text{ (м)}.$$

3) Межі зони Френеля R задовольняють таку умову:

$$R_{\text{б.з}} \leq R \leq R_{\text{д.з}},$$

тобто для нашого випадку $7,3 \text{ м} \leq R \leq 29,0 \text{ м}$.

4) Коефіцієнт підсилення G_A , дБ, антени в головному напрямі визначається за формулою

$$G_A = 10 \lg \left(K_{\text{в.п}} \frac{4\pi S}{\lambda^2} \right) = 10 \lg \left(K_{\text{в.п}} \frac{4\pi^2 R^2}{\lambda^2} \right).$$

Підставляючи послідовно замість $K_{\text{в.п}}$ дані його значення, знаходимо:

$$G_{A1} = 10 \lg \left(0,7 \frac{4\pi^2 (0,3)^2}{0,0248^2} \right) = 10 \lg 4032,5 = 36,1 \text{ (дБ)};$$

$$G_{A2} = 10 \lg \left(0,5 \frac{4\pi^2 (0,3)^2}{0,0248^2} \right) = 10 \lg 2880,4 = 34,6 \text{ (дБ)}.$$

5) Коефіцієнт підсилення для близької зони можна оцінити за формулою

$$G_{A_{\text{б.з}}} = 10 \lg(16R^2/D),$$

де R — відстань від джерела випромінювання.

Узявши до уваги, що

$$R_{\text{б.з}} = \frac{L^2}{2\lambda} = \frac{D^2}{2\lambda},$$

дістанемо:

$$G_{A_{\text{б.з}}} = 10 \lg \frac{16D^2}{2D\lambda} = 10 \lg \frac{8D}{\lambda} = 10 \lg \frac{8 \cdot 0,6}{0,0248} = 10 \lg 193,5 = 21,9 \text{ (дБ)}.$$

В і д п о в і д ь. 1) $R_{\text{д.з}} = 29,0$ м; 2) $R_{\text{б.з}} = 7,3$ м; 3) $7,3 \text{ м} \leq R \leq 29,0 \text{ м}$; 4) $G_{A1} = 36,1$ дБ; $G_{A2} = 34,6$ дБ; 5) $G_{A_{\text{б.з}}} = 21,9$ дБ.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Обґрунтуйте необхідність нормування та стандартизації технічних характеристик (параметрів) ЕМС РЕЗ.

2. Сформулюйте визначення поняття класу випромінювання. Розшифруйте позначення таких класів випромінювань: F8EJF, G7EBT, F3FNN, G1EBN.

3. Які параметри радіопередавачів впливають на раціональне використання радіоспектра?

4. Одним із параметрів ЕМС радіопередавачів є ширина займаної смуги частот випромінювання. Аргументуйте вимоги до неї з позиції ефективності використання частотного спектра та розкрийте способи реалізації цих вимог. Що означає поняття «довершене» («недовершене») випромінювання радіопередавача?

5. Наведіть характеристику позасмугового випромінювання. Як воно впливає на ефективність використання частотного спектра? Як воно використовується при аналізі ЕМС?

6. Наведіть характеристику шумового випромінювання передавача. Як воно оцінюється та в який спосіб впливає на ефективність використання частотного спектра?

7. Поясніть, чому відхилення частоти випромінювань впливає на ефективність використання частотного спектра.

8. Подайте класифікацію неосновних випромінювань радіопередавача. Аргументуйте, чому вони впливають на ефективність використання частотного спектра.

9. Яким чином унормовуються індустриальні завади від радіопередавачів? Аргументуйте, чи сприймає радіоприймач індустриальні завади, і, якщо сприймає, запропонуйте заходи для послаблення такого сприйняття.

10. Назвіть види небажаних випромінювань радіопередавачів та схарактеризуйте роль кожного з них у формуванні умов ЕМО та ЕМС.

11. Назвіть основні причини виникнення позасмугових випромінювань і проілюструйте це рисунком.

12. Назвіть основні причини та види побічних випромінювань. Які способи зменшення побічних випромінювань застосовуються в РЕЗ?

13. Дайте визначення побічних каналів приймання та схарактеризуйте їхню роль у формуванні умов ЕМО та ЕМС.

14. Поясніть, яким чином можна зменшити вплив завад побічних каналів приймання.

15. Визначте необхідну смугу для амплітудно-модульованих, частотно-модульованих та фазомодульованих сигналів. Наведіть приклади.

16. Дайте визначення та наведіть характеристики контрольної смуги частот побічних випромінювань.

17. Наведіть класифікацію каналів приймання радіоприймача. Назвіть параметри ЕМС основного каналу приймання. Що таке шумова смуга та як вона визначається чисельно?

18. Чому чутливість приймача належить до параметрів ЕМС? У чому полягає відмінність між чутливістю та сприйнятливістю?

19. Поясніть, які параметри ЕМС побічних каналів приймання радіоприймачів впливають на раціональне використання радіоспектра та яким чином це відбувається?

20. Параметри багатосигнальної вибірності приймача є параметрами ЕМС. Як вони вноrmовуються?

21. Чи може радіоприймач виступати джерелом індустриальних завад? Відповідь поясніть.

22. Обґрунтуйте заходи з послаблення сприйнятливості до індустриальних завад для радіоприймальних пристроїв.

23. Наведіть співвідношення між рівнями завадостійкості, електромагнітної сумісності та сприйнятливості радіоприймачів. Наведіть нормативні документи, що регламентують ці параметри.

24. Що належить до лінійної, а що до нелінійної частини радіоприймача?

25. Поясніть термін «ефективна вибірність».

26. Назвіть методи дослідження ефективної вибірності.

27. У чому полягає ефект блокування приймача?

28. Чим оцінюється ступінь впливу завади на рівень вихідного сигналу?

29. Чим характеризується динамічний діапазон щодо блокування?

30. Поясніть сприйнятливість радіоприймача до завад дзеркального і напівдзеркального каналів.

31. Дайте визначення ефективної смуги частот шуму. Наведіть графічний метод такого визначення.

32. Наведіть характеристику завад від радіоприймачів.

33. Поясніть сприйнятливість приймальних пристроїв поза антеною.

34. Наведіть визначення максимальної та реальної чутливості приймача. Проілюструйте відповідь рисунком.

35. Що таке односигнальна та багатосигнальна вибірність приймача?

36. Наведіть визначення та поясніть за допомогою рисунка поняття односигнальної вибірності по сусідньому каналу.

37. Наведіть визначення та поясніть за допомогою рисунка поняття односигнальної вибірності по дзеркальному каналу.

38. Наведіть класифікацію антен у завданнях щодо ЕМС.

39. Які параметри передавальних і приймальних антен стосуються проблеми ЕМС РЕЗ? Відповідь обґрунтуйте.

40. В яких випадках необхідно користуватися параметром ЕМС «коефіцієнт зв'язку між антенами»? Запропонуйте заходи для зменшення цього коефіцієнта.

41. В яких випадках удаються до нормування параметрів ЕМС антен? В якому вигляді ці норми задаються?

42. Наведіть приклади основних типів антен та види РЕЗ, в яких вони застосовуються.

43. Поясніть наявність трьох зон основного випромінювання антен та конкретизуйте особливості структури електромагнітного поля в цих зонах.

44. Чому характеристики антен потрібно вимірювати в далекій зоні?

45. Сформулюйте якісне і кількісне визначення діаграми спрямованості антени.

46. Зобразіть типову форму ідеалізованої та реальної діаграми спрямованості антени на основній та на кросовій поляризації.
47. Назвіть основні причини, що впливають на характеристики антен.
48. Подайте якісне і кількісне визначення та назвіть основні особливості показника «крос-поляризаційний захист антени».
49. Розкрийте фізичну сутність і відмінність між усередненою та гарантованою діаграмами спрямованості антен?
50. У чому полягає фізична сутність еталонних діаграм спрямованості антен? Розкрийте особливості їх застосування при обчисленні ЕМС.
51. Назвіть особливості використання діаграм спрямованості антен на крос-поляризації при обчисленні ЕМС.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕМС РЕЗ У РАЗІ ВПЛИВУ РІЗНИХ ЗАВАД У СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Традиційно для забезпечення ЕМС РЕЗ вдаються до організаційних заходів, застосовуваних при їх плануванні, які мають на меті досягнення необхідного частотно-територіального рознесення між РЕЗ, здатних створювати завади один одному. Проте, ці заходи, будучи пасивними, не дозволяють досягати високої ефективності використання РЧС. Тому доводиться застосовувати активні методи, залучаючи різного роду пристрої подавлення завад.

За характером впливу на приймані радіосигнали розрізняють завади адитивні та мультиплікативні.

Адитивні завади являють собою електричні впливи, що додаються до сигналу. Джерела адитивних (від лат. *addition* — додавання) завад $n(t)$ такі:

- радіосигнали від інших випромінювачів (не від кореспондента);
- імпульсні завади від природних і промислових джерел;
- шуми різної природи з нормальним розподілом імовірностей (шуми Галактики, власні шуми приймального пристрою тощо).

Мультиплікативною завадою називають нерегулярну зміну коефіцієнта передавання каналу зв'язку. Ця зміна впливає як на рівень сигналу, так і на його спектральну структуру. Найбільш поширеними видами таких завад є різного роду завмирання, зумовлені нерегулярними змінами параметрів ПРХ. Завмирання, супроводжувані лише зміною рівня сигналу, називають загальними, а коли змінюється ще й структура сигналу, — селективними.

Коли йдеться про завдання ЕМС, то розглядають лише адитивні завади. Один із напрямків послаблення адитивних радіозавад передбачає застосування компенсаторів завад. Вони особливо актуальні за надзвичайно великих рівнів завад.

Завади, що виникають під час роботи систем зв'язку у спільних або сусідніх смугах частот, можуть бути як неперервними, так і імпульсними. Неперервні завади часто виникають, зокрема, на магістральних (радіорелейних і супутникових) лініях зв'язку. Протягом багатьох років на таких лініях функціонували системи зв'язку з використанням частотного ущільнення (ЧУ) та частотної модуляції (ЧМ). Ці системи працюють і нині, хоча протягом останніх десятиріч дедалі більшого поширення набувають системи зв'язку з цифровими видами модуляції. Типовим видом неперервних завад у системах із ЧМ є завади від аналогічних систем, що також використовують ЧМ. Наприклад, на прийманні сигналів на станціях радіорелейних систем або на земних станціях супутникових систем зв'язку можуть впливати завади від інших станцій, що працюють у тих самих смугах частот. Для подавлення завад у такому разі можуть використовуватися як одно-, так і багатоканальні

компенсатори завад (КЗ), а також можливе й застосування адаптивних антенних решіток.

Універсальні КЗ — це пристрої, що формують копію завади та віднімають цю копію від прийманого сигналу, який містить корисний і завадний компоненти. Формування копії завади може відбуватися за рахунок просторових або поляризаційних відмінностей завад і прийманих КС.

Зазначені компенсатори дають змогу боротися з найрізноманітнішими ЗС, зокрема й з такими, вид модуляції яких збігається з видом модуляції КС.

Використання адаптивних антенних решіток дозволяє зменшити вплив завад за рахунок формування глибоких провалів («нулів») у діаграмі спрямованості антен у напрямках приймання ЗС. На сучасному етапі використання таких антен доволі перспективне.

У тих випадках, коли неможливо застосувати традиційні методи забезпечення ЕМС радіосистем за допомогою їх територіального або частотного рознесення, КЗ дозволяють організувати одночасну роботу радіоліній, які впливають одна на одну. До цієї проблеми дотична проблема підвищення ефективності використання РЧС створенням систем передавання у спільній смузі частот кількох ЧМ сигналів, за допомогою яких передаються незалежні повідомлення. Застосування таких систем дозволило б підвищити пропускну здатність каналів зв'язку.

Іншою важливою проблемою боротьби із завадами є проблема подавлення імпульсних завад (ІЗ), створюваних системам радіорелейного й супутникового зв'язку засобами радіолокації та радіонавігації. У багатьох випадках рівень імпульсної завади виявляється настільки значним, що призводить до блокування приймача й «стирання» вражених ІЗ ділянок КС. Тоді стають ефективними методи подавлення ІЗ та відновлення вражених ділянок ІЗ методом екстраполяції або інтерполяції*.

Оскільки на практиці тривалість ІЗ часто буває дуже малою порівняно з часом кореляції корисного повідомлення, до того ж частота повторення цих завад незначна, а рівень цілком достатній для їх надійного виявлення, то в багатьох випадках конструкцію пристроїв подавлення ІЗ можна значно спростити.

У колишньому Радянському Союзі реальні проблеми захисту від ІЗ виникли на станціях тропосферних радіорелейних ліній зв'язку (ТРРЛ) мережі «Північ», що забезпечувала зв'язком райони Крайньої Півночі. Якість приймання сигналів на цих станціях помітно погіршувалася через дію ІЗ з боку наземних радіолокаторів вітчизняної системи повітряної радіонавігації (ПРН).

Така проблема постала й на земних приймальних станціях вітчизняної супутникової системи безпосереднього телевізійного мовлення «Екран», що зазнавали завад із боку радіосистем близької навігації літаків.

* **Інтерполяція** (від лат. *interpolation* — зміна) — відшукання проміжних значень величини за деякими відомими її значеннями. Наприклад, відшукання значень функції $y = f(x)$ у точках x , що містяться між точками x_0 і x_n ($x_0 < x < x_n$), за відомими значеннями $y_i = f(x_i)$, де $i = 0, 1, \dots, n$.

Якщо x перебуває поза інтервалом (x_0, x_n) , то аналогічна процедура називається **екстраполяцією**.

Проблеми подавлення неперервних та імпульсних завад виникають і в інших системах зв'язку, а тому для їх розв'язування було розроблено різні методи [74].

Варто наголосити, що при розробці структури пристроїв подавлення завад та оцінюванні їхньої ефективності важливу роль відіграють створена академіком В. А. Котельниковим теорія потенційної завадостійкості та побудована на її базі теорія оптимального приймання сигналів із неперервними видами модуляції. Ці теорії дають інженерам потужний інструмент для синтезу оптимальних пристроїв і дозволяють визначати межі ефективності подавлення завад, якої можна досягати, застосовуючи ці пристрої.

У цьому розділі стисло розглянуто питання компенсації та адаптації як способів зниження рівня завад, а також функціонування адаптивних і оптимальних КЗ та пристроїв подавлення ІЗ, описано принципи їхньої роботи й наведено оцінки ефективності застосування таких пристроїв у системах радіорелейного й супутникового зв'язку. Розглянуто такі пристрої:

- одноканальні КЗ із обробкою суми корисного та завадного АМ або ЧМ сигналів, що надходять на вхід приймача;
- багатоканальні КЗ, в яких на вхід кожного з каналів надходять поряд із корисним ЧМ сигналом один або кілька завадних ЧМ сигналів з інших каналів приймання;
- подавлювачі ІЗ із блокуванням тракту приймання сигналу під час дії ІЗ;
- подавлювачі ІЗ, побудовані за схемою широка смуга—обмежувач—вузька смуга;
- подавлювачі ІЗ із перетворенням спектра та обмеженням сигналу;
- подавлювачі ІЗ із відновленням уражених ділянок КС екстраполяцією або інтерполяцією;
- подавлювачі ІЗ у системах зв'язку, в яких застосовується частотне рознесення.

5.1. Компенсація та адаптація як способи зниження рівня завад

Компенсацію (послаблення, подавлення) завад можна розглядати як різновид фільтрації. Такі «фільтри» можуть мати або постійні, або автоматично змінювані параметри. В останньому випадку фільтри реалізуються як адаптивні.

Розрахунок компенсаторів із постійними параметрами передбачає апріорне знання характеристики сигналів і завад. Мінлива природа дуже сильних завад підказує доцільність адаптивних компенсаторів останніх. Для їх розрахунку достатньо мати мінімальну апріорну інформацію про сигнали й радіозавади, а іноді така інформація взагалі непотрібна.

Адаптація — це процес цілеспрямованого змінювання параметрів, структури або властивостей системи на основі інформації, отримуваної у процесі виконання основних завдань системи, що має на меті досягнення оптимального (за заданим критерієм) значення з функціонуванням за змінюваних умов (зовнішніх чинників впливу).

Отже, процеси компенсації та адаптації корисні тим, що усувають гостроту проблем, пов'язаних із впливом завад, завдяки зниженню їхнього рівня.

У загальному випадку адаптивна система (рис. 5.1) являє собою «замкнений контур», який містить:

- об'єкт управління;
- пристрій контролю (розпізнавання);
- пристрій, що ухвалює рішення;
- пристрій керування об'єктом управління.



Рис. 5.1. Структура адаптивної системи

Пристрій контролю забезпечує розпізнавання (контроль) характеристик об'єкта управління та прикладених до нього збурювальних впливів. У процесі контролю визначаються середні значення функцій, дисперсій, кореляційних функцій тощо.

Пристрій, що ухвалює рішення, здійснює оцінювання роботи об'єкта управління, а також виробляє оптимальну стратегію для досягнення екстремуму певного показника якості.

Пристрій керування згідно з цією стратегією змінює структуру або параметри об'єкта управління в бік оптимальних (див. рис. 5.1).

Наприклад, у компенсаторі завад у вигляді суматора на вході радіоприймача використовується додаткова (компенсувальна) напруга, що надходить від одного чи кількох джерел завад або датчиків (приміром, додаткових антен), розміщених у тих точках поля завад, де корисний сигнал слабший від завад.

Найпростішим компенсатором може виступити суматор (рис. 5.2), коливання на виході якого утворюються як різниця коливань на основному вході (сигнал + завада, $S + Z_0$) та тієї самої завади Z_1 на додатковому (компенсаційному) вході.

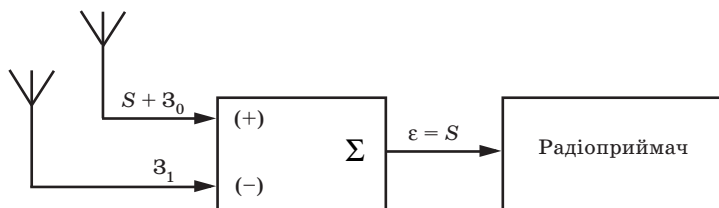


Рис. 5.2. Схема компенсатора у вигляді суматора

Ідею адаптивного компенсатора завад (АКЗ) пояснимо за допомогою рис. 5.3.

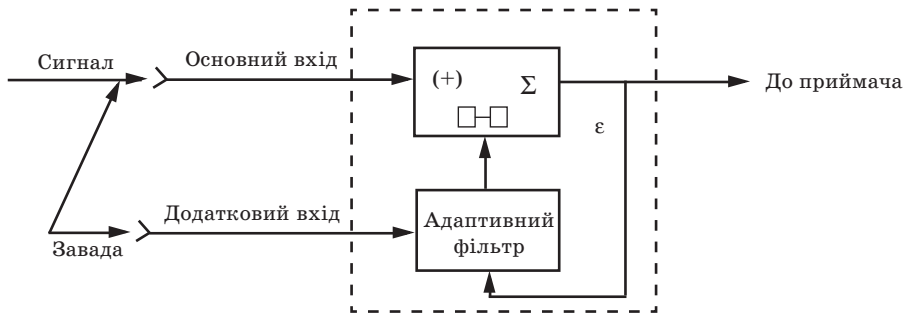


Рис. 5.3. Схема адаптивного компенсатора завад

Завада Z_1 потрапляє у компенсаційний тракт, де змінюються її фаза й амплітуда таким чином, щоб забезпечити її віднімання від напруги суміші сигналу та завад ($S + Z_0$) в основному тракті. У результаті завада в основному тракті зменшується або подавляється повністю. У разі неправильного вибору параметрів АКЗ завади на його виході можуть зрости.

Таким чином, АКЗ — це пристрій для завадозахисту радіоприймача, що полегшує реалізацію вибірності (особливо — багатосигнальної) останнього.

Зауважимо, що нерідко АКЗ можуть забезпечувати такий ступінь подавлення завад, якого важко або й неможливо досягти застосуванням фільтрів із постійними параметрами (наприклад, вибіркою системою у тракті радіочастоти приймача). Завдяки цьому АКЗ дедалі ширше застосовуються на практиці.

Проаналізуємо функціонування АКЗ докладніше. Нехай на основний вхід АКЗ надходить суміш $S + Z_0$, а на компенсаційний вхід — завада Z_1 , корельована із завадою Z_0 . На виході адаптивного фільтра формується коливання Y , що компенсує в суматорі заваду Z_0 .

На виході суматора похибка регулювання ϵ набирає вигляду

$$\epsilon = (S + Z_0) - Y. \quad (5.1)$$

Значення ϵ як результат компенсації завад використовується для управління (ручного або автоматичного) властивостями адаптивного фільтра. Таким чином, для «підстроювання» фільтра (тобто адаптації, пристосування його властивостей до вхідних коливань) необхідне апріорне знання характеристик сигналу S або завад Z_0 і Z_1 .

Припустивши, що часові значення S , Z_1 , Z_0 і Y статистично стаціонарні з нульовим середнім значенням, а S не корельоване із Z_1 , Z_0 та Y , можемо знайти середній квадрат похибки ϵ як математичне сподівання $M\{\epsilon^2\}$:

$$M\{\epsilon^2\}_{\min} = M\{(S + Z_0 - Y)^2\} + M\{S^2\} + M\{(Z_0 - Y)^2\} + 2M\{S(Z_0 - Y)^2\}. \quad (5.2)$$

Отримання мінімуму $M\{\epsilon^2\}$ означатиме мінімізацію вихідної потужності від АКЗ:

$$M\{\epsilon^2\}_{\min} = M\{S^2\} + M\{(Z_0 - Y)^2\}_{\min}. \quad (5.3)$$

Значення потужності $M\{\epsilon^2\}$ у процесі регулювання адаптивного фільтра умовно можна вважати незмінним. Із формули (5.3) випливає, що значення коливання Y з виходу адаптивного фільтра може слугувати найкращою

середньоквадратичною оцінкою завади. Мінімізація $M\{\{\mathcal{Z}_0 - Y\}^2\}$ (бажано до нуля) означає мінімізацію $M\{\varepsilon - S\}$, як це впливає з (5.1):

$$\varepsilon - S = \mathcal{Z}_0 - Y \text{ і } M\{\{\varepsilon - S\}^2\} = M\{\{\mathcal{Z}_0 - Y\}^2\}.$$

Адаптація компенсатора за мінімумом повної вихідної потужності АКЗ дає підстави стверджувати таке: ε — це найкраща оцінка сигналу за критерієм мінімуму середнього квадрата похибки, якщо задано структуру, можливість адаптації та характеристики завод на компенсаційному (опорному) вході компенсатора.

Умова мінімізації повної вихідної потужності від АКЗ означає, що відношення сигнал/завада на виході компенсатора досягає максимуму. Чим вищий цей максимум, тим краща досяжна вірогідність приймання інформації.

5.2. Забезпечення електромагнітної сумісності за допомогою одноканальних компенсаторів завод

Оптимальні одноканальні КЗ являють собою пристрої, призначені для розділення АМ і ЧМ сигналів, які одночасно надходять на вхід приймача. Вони можуть бути синтезованими на основі теорії оптимального приймання неперервних сигналів [75]. Такі пристрої мають із найвищою точністю виокремлювати повідомлення $a_i(t)$ зі складного сигналу $W(t)$, що являє собою суму N сигналів, які діють на вході приймача:

$$W(t) = A \sum_{i=1}^N \mu_i S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i) + n(t) = S(t, \bar{a}, \bar{\lambda}) + n(t), \quad (5.4)$$

де $S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i)$ — i -й сигнал, що надходить на вхід приймача й модульований повідомленням $a_i(t)$; $\bar{\lambda}_i$ — його параметри; $\mu_i A$ — амплітуда i -го сигналу; $n(t)$ — білий гауссів шум з однібоочною спектральною густиною N_0 .

Для АМ, ФМ і ЧМ відповідно маємо:

$$S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i) = [1 + a_i(t)] \sin(\omega_1(t) + \varphi_1);$$

$$S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i) = \sin(\omega_1 t + a_i(t) + \varphi_1);$$

$$S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i) = \sin\left(\omega_i t + \int_{-\infty}^t a_i(t) dt + \varphi_i\right).$$

Тут ω_i — носійна частота i -го сигналу, а φ_i — його фаза.

Якщо в рівнянні (5.4) $N = 2$, то аналіз виконаний на основі теорії оптимального приймання, приводить до наведених далі рівнянь [76], які описують роботу оптимального пристрою за допомогою оптимальної оцінки $a_i^*(t)$ процесу $a_i(t)$:

$$a_i^*(t) = \mu_i H(p) \left\{ [W(t) - S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i)] \frac{\partial S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i)}{\partial a_i} \right\}, \quad (5.5)$$

де $H(p)$ — операторне зображення перехідної характеристики лінійного фільтра, яка визначається за допомогою кореляційної функції процесу $a_i(t)$.

Схему відстежувального КЗ, що моделює рівняння (5.5) при $N = 2$, наведено на рис. 5.4.

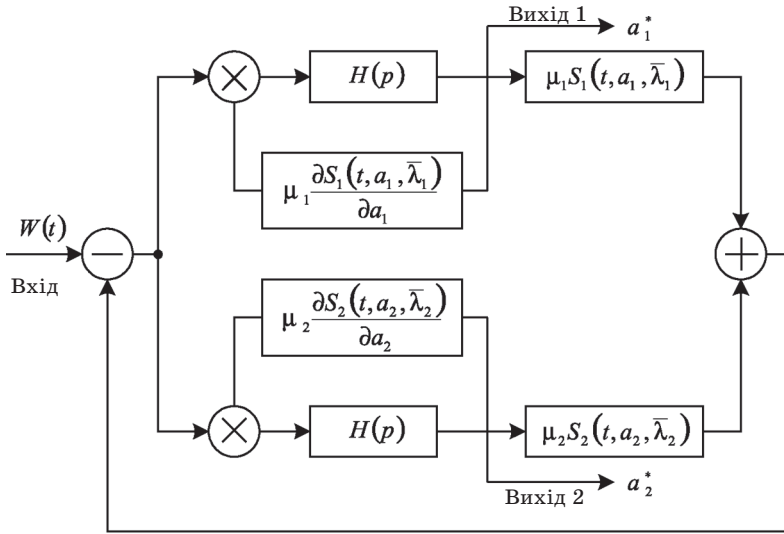


Рис. 5.4. Структура оптимального приймача, що розділяє два сигнали з аналоговою модуляцією

Цей пристрій на вході має дві вітки приймання, у кожній з яких виконується оцінювання одного з повідомлень $a_i(t)$. Знайдені оцінки надходять на модулятори, де перетворюються на сигнали

$$\mu_i S_i(t, a_i^*, \bar{\lambda}_i) \text{ і } \mu_i \frac{\partial S_i(t, a_i^*, \bar{\lambda}_i)}{\partial a_i}.$$

Перші з них підсумовуються, формуючи копію прийманого сигналу $W^*(t)$, а другі подаються на помножувачі в кожній вітці. Копія $W^*(t)$ по колу зворотного зв'язку подається на вхід пристрою, де вона віднімається від прийманого сигналу. Для деяких видів сигналів (АМ, ЧМ тощо) $S_i(t, a_i, \bar{\lambda}_i)$ приймач, наведений на рис. 5.4, можна істотно спростити.

5.2.1. Оптимальний відстежувальний компенсатор завад для двох ЧМ сигналів

Структуру оптимального КЗ наведено на рис. 5.5. Схема містить два пристрої, що виконують віднімання (віднімачі), по одному на вході кожного каналу, і два синхронно-фазові детектори (СФД), що складаються із фазового детектора (ФД) та генератора, керованого напругою (ГКН). Атенюатори регулюються таким чином, щоб на їхньому виході амплітуди ЧМ сигналів дорівнювали амплітудам компенсовуваних сигналів. Теоретичні дослідження [76] завадостійкості приймання двох ЧМ сигналів із використанням такого КЗ, виконані на основі як аналітичних методів, так і математичного моделювання, показали:

- ЧМ сигнали можна повністю розділити без перехідних завад між ними, якщо вони мають носійні однієї й тієї самої частоти та однакової амплітуди, зсув фаз між якими дорівнює 90° , що дає змогу вдвічі збільшити ємність систем, що використовують ЧМ, без будь-якого розширення займаної смуги частот;

- якщо фазовий зсув між розділюваними ЧМ сигналами має випадковий характер і може набувати будь-яких значень, то для їх ефективного

розділення з малими перехідними завадами необхідно збільшити частотне рознесення між носійними частотами;

- доцільно застосовувати оптимальні приймачі з КЗ і в разі значного частотного рознесення, оскільки у приймачах цього типу, на відміну від стандартних типів приймачів, рівень завад на виході демодулятора (Дем) не залежить від рівня завадного сигналу на вході.

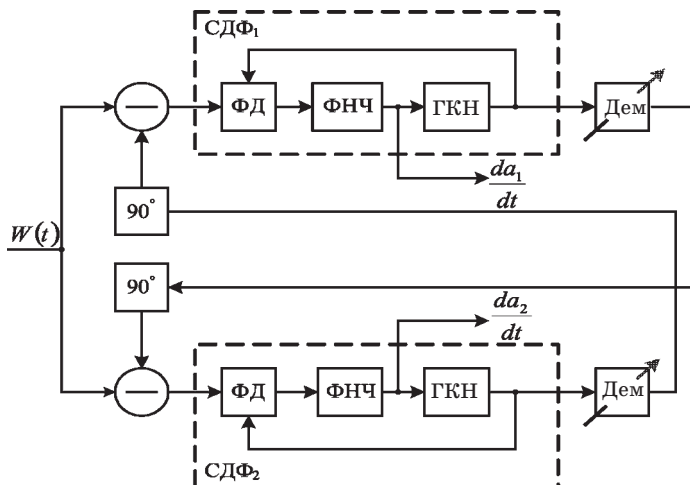


Рис. 5.5. Структура оптимального КЗ для розділення двох ЧМ сигналів

5.2.2. Оптимальний пристрій для розділення двох АМ сигналів

Пристрій, синтезований на основі теорії оптимального приймання неперервних сигналів [76], зображено на рис. 5.6, де Обм — обмежувач; СД — синхронний детектор.

Вузькосмугові фільтри (ВФ) виокремлюють із прийманого сигналу носійну частоту. В одній вітці носійна частота після обмеження у смуговому обмежувачі подається на СД відповідних сигналів, а у другій ця частота модулюється в амплітудних модуляторах (Мод) оцінками корисних повідомлень. Сигнали з виходу синхронних детекторів фільтруються за допомогою ФНЧ. Віднімачі у пристрої на рис. 5.6 призначено для компенсації перехідних завад між каналами.

Аналіз ефективності подавлення АМ завади за допомогою цього пристрою показав [76], що даний компенсатор:

- ефективно розділяє два АМ сигнали, що займають спільну смугу частот;
- збільшує завадостійкість приймання порівняно зі звичайним синхронним приймачем, причому це поліпшення тим значніше, чим більша амплітуда завади, що пояснюється можливостями оптимального приймача подавляти заваду;
- за присутності на вході завадних сигналів оптимальний приймач має істотно (на 25...28 дБ) вище відношення сигнал/шум на виході порівняно зі звичайним синхронним приймачем у тому разі, коли розстроювання між носійними дорівнює верхній модульовальній частоті, а відношення потужностей корисного сигналу та завади на вході становить 0 дБ.

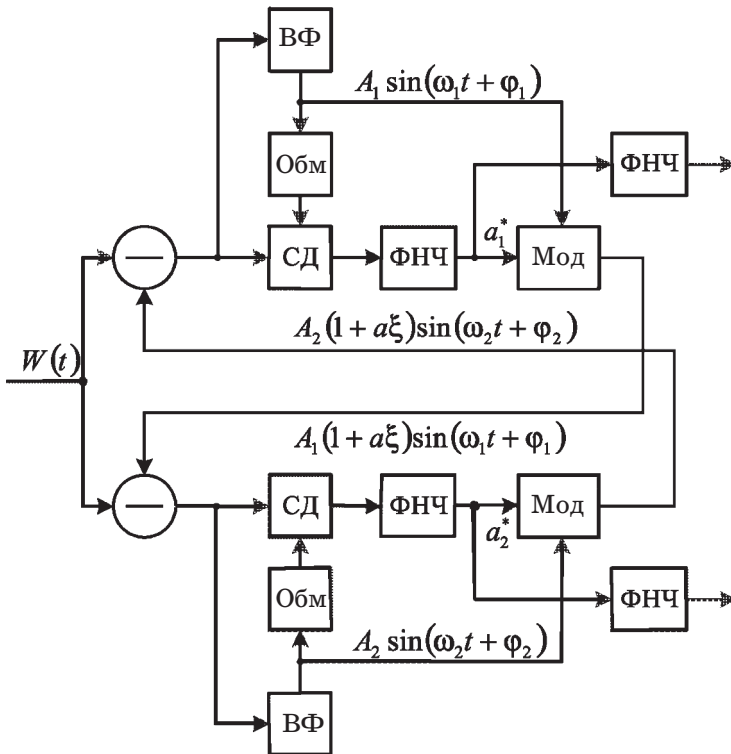


Рис. 5.6. Схема оптимального пристрою розділення АМ сигналів

5.2.3. Ітераційні компенсатори завад

Оптимальні КЗ являють собою пристрої зі зворотним зв'язком, проектування яких істотно ускладнюється через необхідність забезпечення їхньої стійкості з одночасною доброю фільтрацією розділюваних інформаційних сигналів. У разі, коли рівні розділюваних сигналів істотно різняться, зі структури оптимального КЗ зі зворотним зв'язком можна отримати структури оптимальних ітераційних КЗ [76], у яких проблема забезпечення стійкості не виникає. Такі КЗ можуть мати кілька ступенів компенсації, у кожному з яких для фільтрації повідомлень застосовують фільтри з частотними характеристиками, близькими до ідеальних (амплітудна характеристика близька до прямокутної, а фазова — до лінійної). Ітераційні КЗ дають змогу досягати високої ефективності розділення двох сигналів із ЧМ, передаваних у спільній смузі частот.

Розглянемо узагальнену схему ітераційного КЗ (рис. 5.7), що функціонує в такий спосіб.

У Дем₁ 1-го ступеня здійснюється демодуляція 1-го сигналу. Для випадку ЧМ таким демодулятором може бути як звичайний частотний дискримінатор, на виході якого встановлено фільтр із частотними характеристиками, близькими до ідеальних, так і відстежувальний демодулятор [77].

На виході Дем₁ формується оцінка 1-го інформаційного сигналу та копія сигналу, що має на вході КЗ більший рівень. Амплітуда й фаза цього сигналу за допомогою стандартних кіл автоматичного регулювання встановлюються такими самими, як і в 1-го сигналу на вході пристрою.

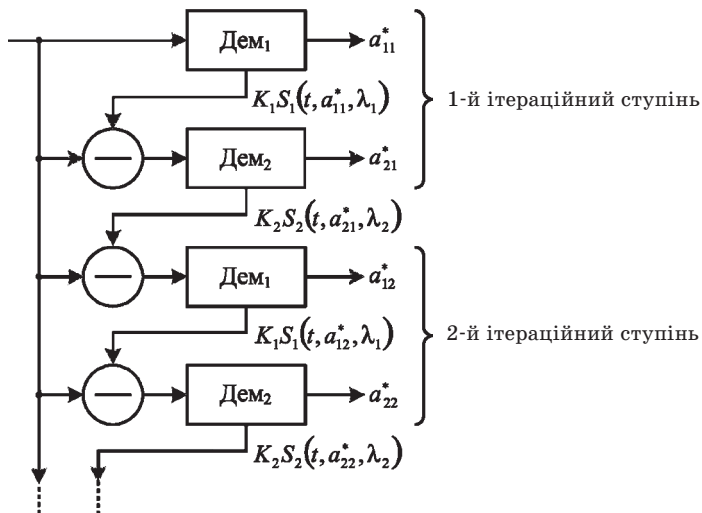


Рис. 5.7. Структура ітераційного КЗ

В ітераційному КЗ для ЧМ сигналів замість кіл автоматичного регулювання можуть застосовуватись вузькосмугові відстежувальні ежекторні фільтри. Зазначена копія віднімається від вхідного сигналу й надходить на вхід Дем₂ того самого ступеня. Цей демодулятор виконує ті самі функції, що й Дем₁. У результаті на вхід Дем₁ 2-го ступеня надходить сигнал, рівень якого відносно рівня залишку ЗС збільшений порівняно з відношенням рівнів 1-го і 2-го сигналів на вході пристрою.

Кожний наступний ступінь ітераційного КЗ поліпшує відношення сигнал/завада на вході Дем₁ і Дем₂, які утворюють цей ступінь.

Зауважимо, що 1-й ступінь ітераційного КЗ являє собою компенсатор, запропонований 1959 року американським ученим Е. Дж. Багдаді для виокремлення слабого ЧМ сигналу із суми двох ЧМ сигналів, які діють у спільній смузі частот.

Докладнішу схему одного ступеня ітераційного КЗ зображено на рис. 5.8. У ній миттєва частота ГКН₁ керується напругою з виходу частотно-детектора ЧД₁. На виході ЧД формується оцінка $a^*_{11}(t)$ повідомлення $a_1(t)$. Зазначена напруга через присутність на вході пристрою двох ЧМ сигналів і шуму пропорційна (із певною похибкою) до миттєвої частоти ЧМ сигналу з більшою амплітудою на вході пристрою.

Блок, що складається з послідовно з'єднаних змішувача (Зм₁), вузькосмугового режекторного фільтра (РФ) та змішувача (Зм₁^{*}) (див. рис. 5.8), являє собою відстежувальний РФ (ВРФ), котрий режектує сигнали, миттєва частота яких збігається з миттєвою частотою ГКН.

Відстежувальний РФ функціонує в такий спосіб. У Зм₁ формуються сигнали різницевої частоти між сигналами, що надходять на вхід пристрою, і сигналом на вході ГКН₁.

Оскільки закони змінювання миттєвої частоти цього сигналу та частоти ГКН₁ різняться неістотно, то сигнал більшого рівня в першому Зм₁ перетворюється на сигнал, близький до гармонічного. Цей сигнал подавляються у вузькосмуговому РФ, встановленому на виході Зм₁. Що ж до другого (слабкішого) ЧМ сигналу, то він у цьому самому Зм₁ перетворюється на широко-

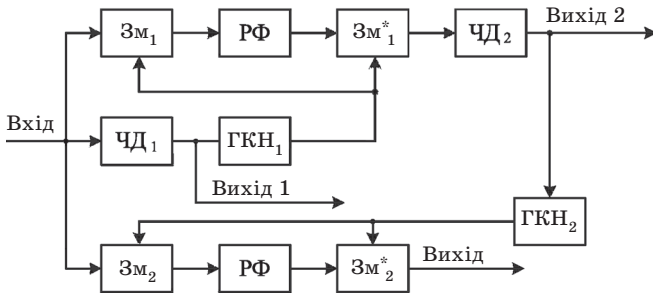


Рис. 5.8. Схема одного ступеня ітераційного КЗ

смуговий, який проходить на вихід вузькосмугового РФ із незначними спотвореннями.

У $Зм_1^*$ цей широкосмуговий сигнал перетворюється на сигнал, закон змінювання частоти якого повторює закон $a_2(t)$ змінювання частоти другого ЧМ сигналу, а залишок напруги гармонічного сигналу на виході РФ перетворюється на додаткову заваду, накладену на цей сигнал. У $ЧД_2$ здійснюється демодуляція другого ЧМ сигналу й формується оцінка $a_{21}^*(t)$. Напряга на виході $ЧД_2$ змінює миттєву частоту $ГКН_2$. У другому ВРФ ($Зм_2 - РФ - Зм_2^*$), на який як опорна напруга подається сигнал із виходу $ГКН_2$, аналогічно до того, як це було описано раніше, здійснюється подавлення слабкого ЧМ сигналу. При цьому вихід другого ВРФ є виходом 1-го ступеня ітераційного КЗ.

Основні результати досліджень ітераційних КЗ для ЧМ сигналів полягають ось у чому:

- за допомогою КЗ Багдаді можна досягти високої якості приймання слабкого ЧМ сигналу лише за умови, що індекс ЧМ сигналів має достатньо велике ($m \geq 8$) значення;

- використовуючи в КЗ фільтри Баттерворса високого ($4 \leq n \leq 8$) порядку та фазові коректори, можна забезпечити вищу якість демодуляції слабкого ЧМ сигналу порівняно з якістю демодуляції сильного.

Результати досліджень ітераційного КЗ для двох ЧМ сигналів наведено на рис. 5.9, де зображено графіки залежності коефіцієнтів γ_{1l} і γ_{2l} від кількості l ступенів ітерації в КЗ. Ці коефіцієнти показують, на скільки децибелів потужність шуму в телефонних каналах на першому (суцільні криві γ_{1l}) і другому (пунктирні криві γ_{2l}) виходах l -го ступеня КЗ перевищує потужність шуму, яка була б у тому разі, якби приймання як сильного, так і слабкого сигналу здійснювалося за відсутності завад. Ці залежності побудовано для випадку, коли відношення потужності сильного сигналу до потужності шуму в інформаційній смузі дорівнює 30 дБ, а слабкого сигналу — 20 дБ, тобто співвідношення рівнів сильного та слабкого сигналів становить 10 дБ. Криві 1 побудовано для випадку $n = 2$ і $m = 2$; криві 2 — для $n = 4$ і $m = 4$; криві 3 — для $n = 3$ і $m = 4$; криві 4 — для $n = 4$ і $m = 2$; криві 5 — для $n = \infty$ і $m = 2$; криві 6 — для $n = \infty$ і $m = 4$. (Випадку $n = \infty$ відповідає застосування в КЗ ідеальних фільтрів із прямокутною амплітудно-частотною та лінійною фазовою характеристикою).

Аналіз кривих показує, що здебільшого застосування двох чи трьох ступенів ітерації дозволяє досягти граничної (за заданих характеристик низькочастотних фільтрів) ефективності компенсатора.

Застосування двокаскадного ітераційного КЗ замість КЗ Багдаді дає при розділенні ЧМ сигналів виграш, що дорівнює близько 10 дБ.

Як впливає з рис. 5.9 навіть у разі використання в КЗ фільтрів 4-го порядку та не дуже великих ($m = 2$) значеннях індексу модуляції розділення двох ЧМ сигналів ітераційним КЗ дозволяє забезпечити таку якість приймання, що не набагато поступається якості їх приймання за відсутності ЗС.

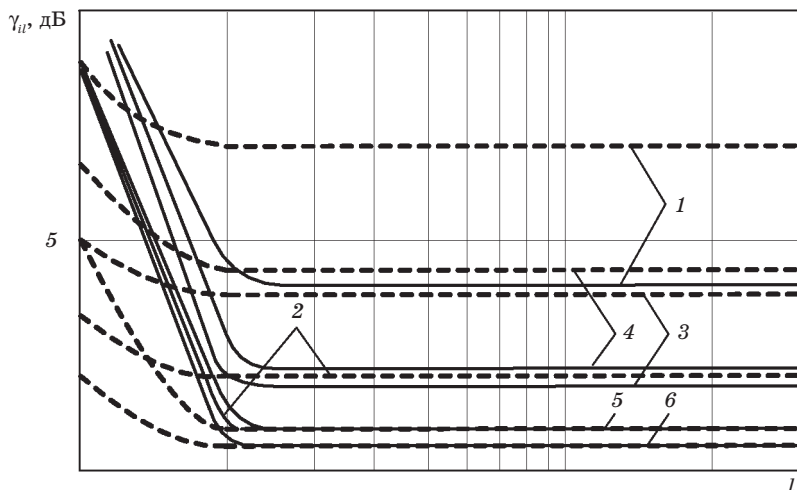


Рис. 5.9. Графіки залежності коефіцієнтів γ_{ii} від кількості ступенів ітерації

5.3. Забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів за допомогою двоканалних компенсаторів завад у системах зв'язку з ЧМ

Багатоканальні (на практиці здебільшого застосовують двоканалні) КЗ можна поділити на два типи:

- КЗ із опорним входом, в яких на один із входів надходить КС і завада, а на інший — лише завада;
- КЗ, в яких КС і ЗС надходять на обидва входи.

Багатоканальні КЗ першого типу знаходять застосування в супутникових системах зв'язку для захисту земних станцій від завад із боку радіорелейних систем у діапазоні частот понад 4 ГГц. Вони значно розширюють можливості вибору майданчиків для розміщення земних станцій, дозволяючи в багатьох випадках розміщувати ці станції поблизу міст, що істотно зменшує вартість будівництва ліній, які пов'язують земні станції із вузлами зв'язку в місті. У КЗ для земних станцій використовують додаткову антену, орієнтовану на джерело радіозавади, і пов'язаний із нею додатковий приймач.

У напрямі до джерела КС коефіцієнт підсилення додаткової антени має бути незначним, аби на цьому вході відношення завада/сигнал було якомога більшим (понад 50 дБ). Це зумовлено тим, що значення цього відношення обмежує можливості компенсації завад у основному тракті.

Форми діаграм спрямованості основного та додаткового каналів наведено на рис. 5.10.

Технічно КЗ можна створити для роботи на радіо- чи проміжній частоті або передбачити комбінування обох варіантів.

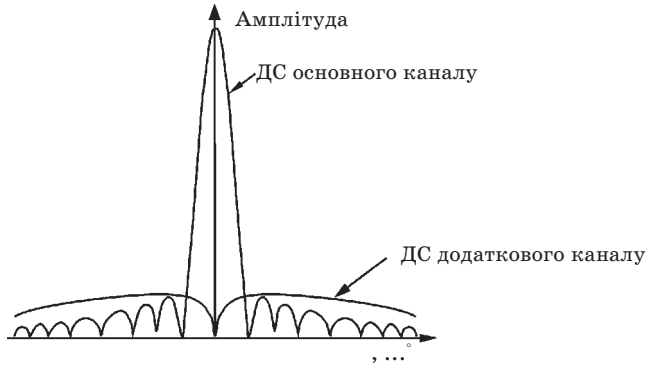


Рис. 5.10. Діаграми спрямованості основного та додаткового каналів

Функціональну схему двоканального КЗ наведено на рис. 5.11. Зауважимо, що КЗ такого типу можна використати, наприклад, на проміжній або вузловій радіорелейній станції, в якій на одній і тій самій частоті приймаються різні сигнали, що надходять із різних напрямів.

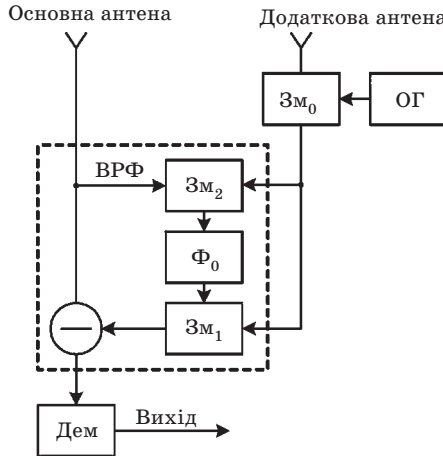


Рис. 5.11. Схема двоканального КЗ

Схему, що пояснює виникнення завад у даному випадку, наведено на рис. 5.12.

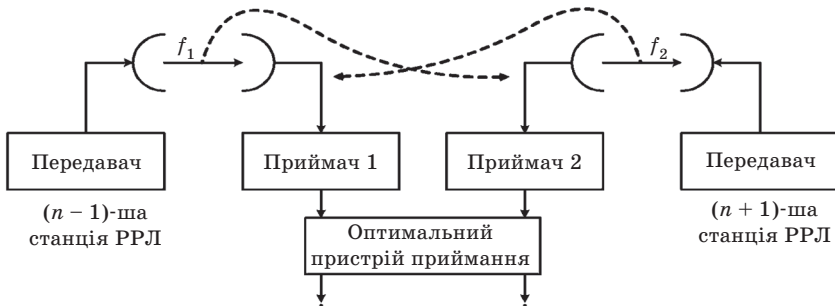


Рис. 5.12. Схема виникнення завад на радіорелейних станціях

Для приймання сигналів, що надходять із різних напрямів, використовують різні антени. Через недостатньо високу просторову вибірність цих антен на вхід кожного з приймачів, установлених на одній станції радіорелейних ліній (РРЛ) окрім КС діє й завада.

У деяких випадках (наприклад, коли використовуються перископічні антени) це призводить до необхідності застосовувати на РРЛ чотиричастотний план.

Застосування КЗ на таких лініях дозволяє перейти на двочастотний план, подвоївши в такий спосіб кількість радіостволів, по яких у кожному напрямі може передаватися корисна інформація.

Аналогічна ситуація виникає й у разі поляризаційного ущільнення лінії зв'язку або через недостатню розв'язку щодо поляризації приймальної антени, або через деполяризацію сигналу, що виникає при поширенні радіохвиль. Тоді КЗ складніший, ніж КЗ з опорним входом, оскільки, як випливає з рис. 5.12, він має компенсувати завади, що діють одночасно на виходах двох приймачів однієї станції.

Зауважимо, що в [76] розглянуто загальні питання застосування багатоканальних КЗ у системах зв'язку, а також висвітлено методологію визначення оптимальних параметрів КЗ першого типу, які дають змогу забезпечити високу ефективність подавлення завад. Наведено опис ще одного виду КЗ першого типу й викладено результати дослідження його ефективності. Окрім того запропоновано синтез оптимальних і субоптимальних структур КЗ другого типу, розроблено методологію їх проектування та визначено ефективність подавлення ними завад.

5.3.1. Компенсатор завад із опорним входом

Схема такого КЗ (див. рис. 5.11) містить три змішувачі. У Z_{m_0} і Z_{m_1} виділяються сумарні частоти перетворення, у Z_{m_2} — різницеві. У Z_{m_0} за допомогою опорного генератора (ОГ) здійснюється зсув носійної частоти сигналу $W_2(t)$.

В адаптивному блоці (АБ) міститься підсилювач із великим коефіцієнтом K підсилення та вузькосмуговий фільтр Φ_0 . У Z_{m_2} відбувається зняття модуляції з напруги радіозавади, яка діє в основному каналі приймання. Тому у спектрі сигналу на його виході зосереджено виокремлювану фільтром гармонічну напругу, амплітуда й фаза якої такі, що на виході Z_{m_1} формується копія радіозавади, яка діє в основному каналі приймання. Окрім того, на виході Φ_0 , а отже, і Z_{m_1} існує флуктуаційна напруга, зумовлена биттям сигналу й шуму на основному вході КЗ із завадою та шумом на його допоміжному вході. Ці биття створюють на виході КЗ додаткові шуми, які спостерігаються навіть тоді, коли на його основному вході завади немає. Ці шуми є власними шумами КЗ.

Аналіз і оптимізація параметрів даного КЗ [76] для двох типів фільтрів Φ_0 , що мають відповідно такі частотні характеристики:

$$[1 - j\omega/\alpha]^{-1} \text{ і } (1 - \mu)[1 - j\omega/\alpha]^{-2} + \mu[1 - j\omega/\alpha]^{-1}$$

показують, що шумова смуга АБ для фільтра першого типу $F_{\text{ш}} = \alpha(K + 1)/2$, а для фільтра другого типу шумова смуга АБ мінімальна в разі, коли значення параметра μ взято $\mu_{\text{опт}} = 1/\sqrt{1 + K}$ і при цьому шумова смуга АБ дорівнює $F_{\text{ш}} = \alpha\sqrt{1 + K}$.

Таким чином, при великих значеннях K , необхідних для досягнення високої ефективності подавлення завади на виході КЗ, застосування фільтра другого типу дозволяє забезпечити значно меншу шумову смугу порівняно зі смугою фільтра першого типу.

Отримано вирази [76], що визначають потужність у телефонному каналі на виході демодулятора в системі із частотним ущільненням та частотною модуляцією (ЧУ/ЧМ) шуму, зумовленого дією радіозавади на основному вході КЗ. Показано, що коли відношення сигнал/завада на основному вході становить $-10 \dots +10$ дБ, то в разі застосування фільтра першого типу та оптимального вибору параметрів АБ зазначена потужність дорівнює $50 \dots 600$ пВт. Ці результати стосуються випадку, коли розділювані ЧМ сигнали мають індекси модуляції $m = 1$.

Смугу пропускання фільтра в АБ потрібно добирати близько $5 \dots 30$ Гц. Застосування в КЗ фільтра другого типу зменшує потужність шуму в телефонному каналі на 8 дБ.

5.3.2. Оптимальні та субоптимальні компенсатори завад

Теорія оптимального приймання сигналів дає потужний інструмент для синтезу двоканальних оптимальних і субоптимальних КЗ, призначених для приймання ЧМ сигналів у разі, коли на обидва входи КЗ надходить як корисний, так і ЗС [76].

Схему оптимального КЗ наведено на рис. 5.13. У цьому КЗ блоки, обведені пунктиром, є СФД, а вузькосмугові низькочастотні фільтри Φ_0 належать колам підстроювання керованих генераторів КГ за фазою до значень фаз прийманих сигналів.

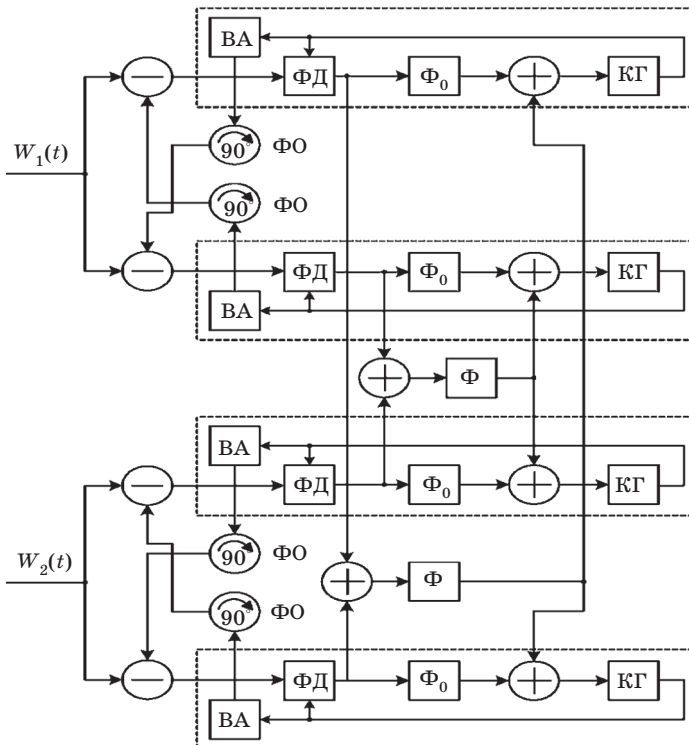


Рис. 5.13. Схема оптимального КЗ

Ширококутові кола відстежування КГ інформаційних сигналів, які модулюють за частотою сигнали, що надходять на входи КЗ, утворюються суматорами й фільтрами Ф, котрі не пропускають постійної складової. Блоки ФО являють собою фазообертачі на 90° . Компенсатор містить блоки вимірювання амплітуд ВА сигналів і завад, що діють на його входах.

Методику оптимізації параметрів даного КЗ наведено в [76]. Результати його дослідження при прийманні сигналів ЧУ/ЧМ ілюструє рис. 5.14. Ефективність КЗ доцільно оцінювати коефіцієнтом $\eta_{\text{опт}}(r^2)$, що показує, на скільки децибел зростає потужність шуму в телефонному каналі на виході КЗ порівняно з випадком, коли завади немає, залежно від r^2 — відношення сигнал/завада, дБ, на його входах.

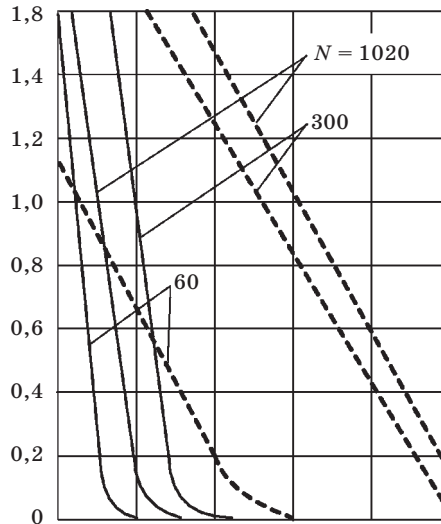


Рис. 5.14. Графіки залежності η_0 і $\eta_{\text{опт}}$ від r^2 для різних N

Наприклад, на рис. 5.14 суцільними кривими зображено залежності $\eta_{\text{опт}}(r^2)$ для систем ЧУ/ЧМ із кількістю телефонних каналів $N = 60, 300$ і 1020 . Водночас із рис. 5.13 впливає, що коли розв'язка між каналами приймання КЗ становить усього $10 \dots 20$ дБ ($r^2 = 10^{-1} \dots 10^{-2}$), то зростання шумів у телефонному каналі на виходах КЗ не перевищує $1,5$ дБ для всіх значень N .

Зауважимо, що значення $\eta_{\text{опт}}(r^2)$, дБ, для розглянутого КЗ близькі до тих, які отримано в [76] на основі теорії оцінювання параметрів прийманих сигналів, розвиненої В. А. Котельниковим [75]:

$$\eta_{\text{опт}}(r^2) = 10 \lg \frac{(1+r^2)}{(1-r^2)^2}. \quad (5.6)$$

Окрім того, на рис. 5.14 для різних значень N пунктирними кривими зображено залежності коефіцієнта $\eta_0(r^2)$, що показують, на скільки децибел зростають шуми в телефонному каналі в тому разі, коли КЗ не застосовується. Порівняння $\eta_{\text{опт}}(r^2)$ і $\eta_0(r^2)$ показує, що використання КЗ забезпечує значне подавлення завад і знижує вимоги до розв'язки між каналами. Якщо збільшення шумів через дію завад припустимо всього на $0,5$ дБ, то необхідне послаблення завади за відсутності КЗ на вході приймача виявляється на 40 дБ більшим, ніж у разі його застосування.

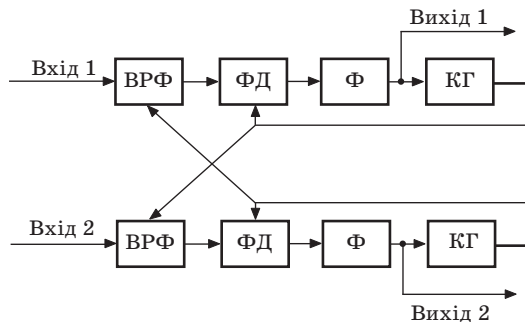


Рис. 5.15. Схема субоптимального двоканального КЗ

Розглянемо схему субоптимального двоканального КЗ (рис. 5.15). У кожному каналі приймання для демодуляції корисного ЧМ сигналу використовується СФД, перед яким увімкнено ВРФ (його роботу описано раніше при розгляді ітераційного КЗ). Цей фільтр керується сигналом, що діє на виході ГКН, який входить до складу СФД другого каналу приймання. У ВРФ відбувається режектування перехідної завади, що діє в даному каналі.

Зазначимо, що субоптимальний КЗ істотно простіший за оптимальний, оскільки містить лише один СФД на кожному своєму вході. Його ефективність практично така сама, як і в оптимального КЗ.

5.3.3. Цифрові автокомпенсатори завад

Поява нової радіоелектронної бази з високими обчислювальними потужностями, наприклад програмованих логічних інтегральних схем фірм Xilinx, Altera та інших, а також сигнальних процесорів Analog Devices, Texas Instruments уможливила практичну реалізацію цифрових КЗ, які дають змогу подавлювати ЗС на рівні ПЧ. Для цього після оцифрування прийманих сигналів аналого-цифровим перетворювачем та формування квадратурних складових результуючі сигнали подають на цифровий автокомпенсатор завад (АКЗ). Існують кілька способів практичної реалізації цифрових АКЗ, якими можна скористатися.

Одним із варіантів побудови АКЗ є одноканальний АКЗ із кореляційним зворотним зв'язком []. Структурну схему якого наведено на рис. 5.16, де маємо такі позначення: $\text{Re}Y_o$, $\text{Im}Y_o$; $\text{Re}Y_d$, $\text{Im}Y_d$; $\text{Re}Y_v$, $\text{Im}Y_v$ — квадратури відповідно основного каналу, додаткового каналу та на виході КЗ.

Для зменшення розрядності обчислювальних пристроїв, задіяних у схемі, використано релеївський метод [] обчислення вагового коефіцієнта. А щоб зменшити кількість арифметичних пристроїв, використовуваних при побудові схеми, передбачено передавання на усереднювальні суматори інформації не про $\text{Re}Y_v$, $\text{Im}Y_v$, а лише про знаки $\text{Re}Y_v$, $\text{Im}Y_v$. Зазначена схема зручна для реалізації на ПЛІС, оскільки дає змогу використовувати мінімальний обсяг пам'яті з вилученням операції ділення.

Ще одним із варіантів побудови АКЗ є схема із прямим обчисленням вагових коефіцієнтів. Структурну схему такого АКЗ наведено на рис. 5.17.

Перевага такої схеми полягає у відсутності зворотного зв'язку, завдяки чому забезпечуються швидка збіжність і стійкість при настроюванні вагового коефіцієнта. Використовувати цю схему доцільно насамперед тоді, коли йдеться про реалізацію КЗ на базі сигнальних процесорів.

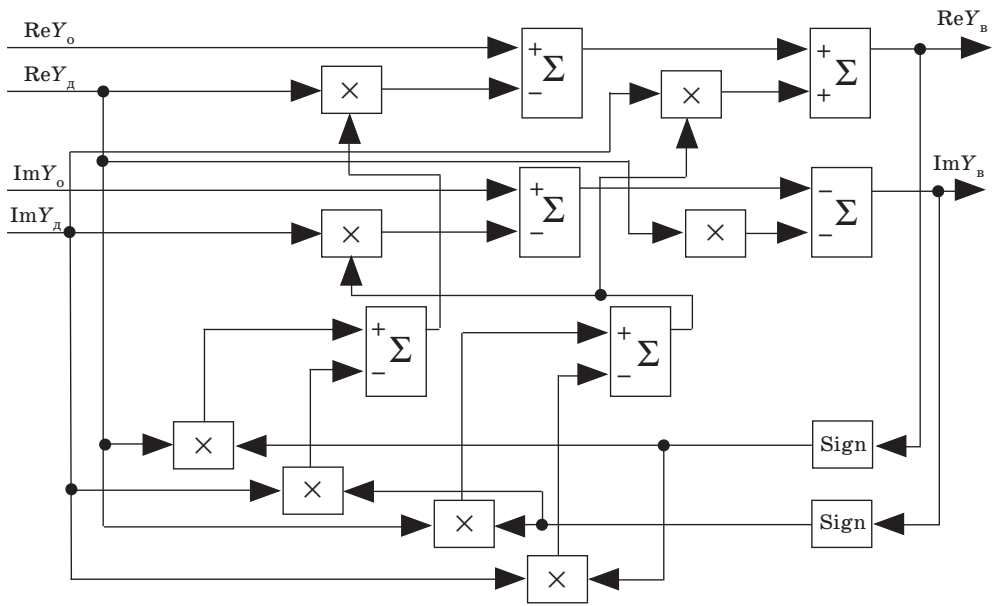


Рис. 5.16. Структурна схема одноканального АКЗ

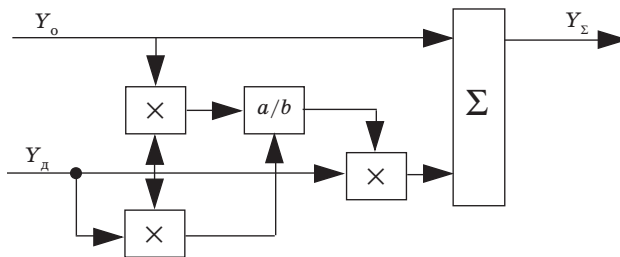


Рис. 5.17. Структурна схема АКЗ із прямим обчисленням вагового коефіцієнта

5.3.4. Ефективність застосування компенсаторів завод

Результати теоретичних і експериментальних досліджень показали, що завдяки використанню КЗ можна досягти подавлення завод на 20...40 дБ. Застосування такого обладнання дає змогу істотно поліпшити ЕМС різних радіосистем, які працюють у спільній смузі частот, а також підвищити ефективність використання РЧС.

Розглянуті раніше КЗ у багатьох практично важливих випадках дозволяють розв'язувати проблеми забезпечення ЕМС насамперед тоді, коли з тієї чи іншої причини традиційні методи розв'язання цих проблем, які передбачають забезпечення ЧТР між взаємно заводними системами, не дають бажаного ефекту.

Компенсатори завод можуть використовуватися в наземних радіослужбах, таких як РРЛ, що працюють у сантиметровому діапазоні хвиль, для зменшення як територіального чи кутового рознесення між станціями, що взаємодіють, так і припустимого кутового рознесення між геостационарними супутниками, що працюють у системах фіксованої супутникової служби.

Ефективність роботи КЗ визначається за допомогою коефіцієнта K_3 подавлення завад:

$$K_3 = 10 \lg \frac{\sigma_{\text{вх}}^2}{\sigma_{\text{вих}}^2}, \quad (5.7)$$

де $\sigma_{\text{вх}}^2$, $\sigma_{\text{вих}}^2$ — середньоквадратичне значення завади відповідно на вході основного каналу та на виході КЗ.

Потенційно досяжний коефіцієнт подавлення завад у КЗ істотно залежить від значення коефіцієнта взаємної кореляції завадних сигналів на входах КЗ. Потенційно досяжний коефіцієнт подавлення завад визначається за формулою:

$$K_3^* = \frac{1}{1 - \rho^2}. \quad (5.8)$$

Тут

$$\rho = \frac{M\{Y_1 Y_2\}}{\sqrt{M\{|Y_1|^2\} M\{|Y_2|^2\}}},$$

де Y_1 , Y_2 — сигнали відповідно основного і додаткового каналу.

Коефіцієнт взаємної кореляції завадних сигналів визначається ідентичністю амплітудних, частотних і фазових характеристик каналів приймання.

Максимально досяжний коефіцієнт подавлення в реальних приймальних системах обмежений динамічним діапазоном приймальних каналів. Річ у тім, що в разі впливу на приймальну систему потужних завад, рівень яких перевищує динамічний діапазон приймальних каналів, відбувається міжканальна декореляція сигналів. Вона зумовлена тим, що підсилювачі приймальних трактів основного і додаткового каналів починають працювати в нелінійних режимах, що призводить до виникнення численних комбінаційних складових (некорельованих міжканально) у спектрах прийраних сигналів.

Визначити ефективність застосування КЗ можна, оцінивши вплив ступеня Δ , дБ, подавлення завад, забезпечуваного за допомогою компенсаторів, на зменшення необхідного територіального рознесення, що визначається коефіцієнтом $K_T = R_\Delta / R_0$, де R_0 — необхідне територіальне рознесення між станціями без застосування компенсаторів, а R_Δ — відстань між самими станціями в разі використання компенсатора завад зі ступенем подавлення Δ .

Графіки залежності коефіцієнта K_T (для кількох значень R_0) від значення Δ наведено на рис. 5.18. Ці графіки можна використати для оцінювання ефективності застосування КЗ у РРЛ зв'язку, які працюють у діапазоні частот 1...8 ГГц. Як випливає з рис. 5.18, залежність K_T від Δ нелінійна. Через це ефективність застосування компенсатора з тим чи іншим ступенем Δ подавлення буде різною залежно від початкових умов.

Розглядаючи криві, наведені на рис. 5.18, бачимо, що, наприклад, для невеликих значень R_0 значно збільшувати ступінь Δ подавлення радіозавад компенсаторами немає сенсу, оскільки це не призводить до помітного послаблення вимог щодо необхідності територіального рознесення. Річ у тім, що при невеликих значеннях R_0 траса поширення радіозавад пролягає в області дифракційного механізму поширення радіохвиль, в якій втрати під час поширення доволі швидко скорочуються зі зменшенням довжини цієї траси.

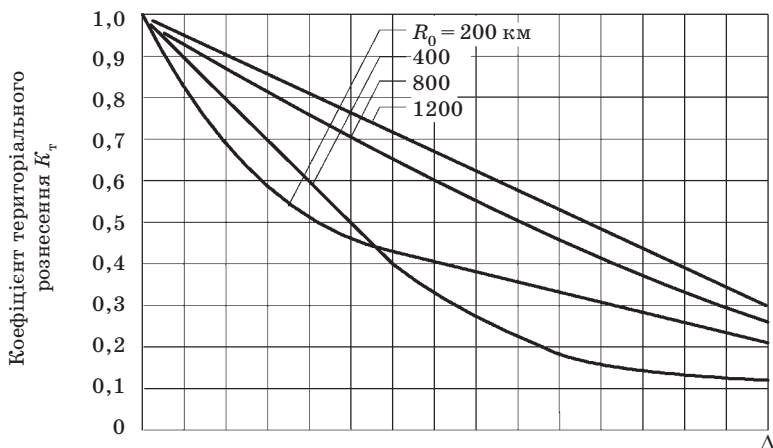


Рис. 5.18. Графіки залежності коефіцієнта K_T від Δ для різних значень R_0

Вплив ступеня Δ подавлення завад на необхідне кутове рознесення оцінюється обчисленням коефіцієнта $K_0 = \theta_\Delta / \theta_0$, де θ_Δ і θ_0 — кутове рознесення, необхідне для забезпечення ЕМС систем, що взаємодіють, відповідно без застосування та із застосуванням КЗ.

Коефіцієнт підсилення антен у загальному вигляді визначається виразом $G(\theta) = \beta - 25 \lg \theta$. Значення θ_0 , θ_Δ і Δ пов'язані очевидним співвідношенням $G(\theta_0) = G(\theta_\Delta) - \Delta$, звідки $K_0 = 10^{-\Delta/25}$. Зі здобутого виразу випливає, що застосування компенсатора з $\Delta = 8$ дБ дозволяє зменшити кутове рознесення вдвічі, а при $\Delta = 25$ дБ — до десяти раз.

Вираз для K_0 можна також використовувати для оцінювання виграшу щодо пропускної здатності геостаціонарної орбіти, якого можна досягти застосуванням КЗ. У цьому разі застосовують модель, яка подає рівномірно розподілені по орбіті однорідні супутники, кутове рознесення між якими дорівнює θ_Δ , коли використовують КЗ, і θ_0 — за їхньої відсутності.

Збільшення кількості супутників, що створюють завади, природно, ускладнює практичну реалізацію КЗ. Тому значення K_0 характеризує лише теоретичну оцінку максимального виграшу, що його може дати застосування КЗ. Проте очевидно, що навіть порівняно невисокий ступінь подавлення завад, наприклад $\Delta = 8$ дБ, забезпечує істотне (удвічі) збільшення пропускної здатності орбіти.

Таким чином, КЗ можуть слугувати доволі ефективним засобом забезпечення ЕМС у РРЛ і супутникових системах.

5.4. Забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів за допомогою пристроїв подавлення імпульсних завад

5.4.1. Прості методи подавлення імпульсних завад

Для подавлення ІЗ запропоновано чимало різноманітних пристроїв [74]. Один із найпростіших методів захисту від ІЗ — замикання (бланкування) тракту приймання корисного повідомлення під час дії ІЗ. При цьому значення повідомлення протягом часу дії ІЗ замінюються нульовими, що призводить до помітних спотворень. Ці спотворення дещо знижуються за рахунок подальшої фільтрації бланкованого сигналу вузькосмуговим фільтром, че-

рез який він проходить на вихід приймального пристрою. Проте цей метод не дозволяє відновити спотворене ІЗ повідомлення з високою точністю, а через це застосовувати його в системах багатоканального зв'язку недоцільно.

Вагомий внесок у розробку методів подавлення ІЗ зробили радянські вчені, серед яких передусім варто згадати академіка А. Н. Щукіна та професора Д. В. Агеєва.

Зокрема, А. Н. Щукін запропонував простий у реалізації метод подавлення ІЗ, який дістав назву «широкосмуговий фільтр—обмежувач—вузькосмуговий фільтр».

Сутність цього методу полягає в тому, що на вході приймача встановлюється широкосмуговий фільтр, проходячи через який, ІЗ, котра значно перевищує рівень КС, практично не зменшується за амплітудою. Обмежувач, установлений після широкосмугового фільтра, «зрізає» ІЗ високого рівня, а встановлений після обмежувача вузькосмуговий фільтр, що має мінімальну смугу пропускання, узгоджену зі смугою КС, дає додаткове зменшення зумовлених ІЗ спотворень КС. Зазначимо, що цей метод ефективний лише в тому разі, коли КС займає вузьку смугу частот. Однак спотворення КС, що виникають під час дії ІЗ, залишаються значними, а тому цей метод неефективний, коли йдеться про подавлення ІЗ у багатоканальних широкосмугових системах зв'язку.

Інший, також доволі простий метод подавлення ІЗ запропонував професор Д. В. Агеєв. Згідно з цим методом блок подавлення ІЗ встановлюється на виході демодулятора КС, на який надходять низькочастотне корисне повідомлення та короткочасна ІЗ, яка з'являється час від часу, має широкий спектр і достатньо високий рівень.

У блоці подавлення ІЗ встановлюється передспотворювальний лінійний фільтр, який у смузі частот, що її займає корисне повідомлення, має незначний коефіцієнт передавання, а за її межами цей коефіцієнт помітно вищий. Таким фільтром може бути, зокрема, диференціувальне коло. Передспотворювальний фільтр практично не послаблює широкосмугової ІЗ. На його виході встановлюється обмежувач, що має лінійну ділянку в області низьких рівнів повідомлення, яке надходить на його вхід.

За відсутності ІЗ на вхід обмежувача надходить корисне повідомлення низького рівня. Воно без спотворень проходить через обмежувач і надходить на лінійний коригувальний фільтр, частотна характеристика якого обернена щодо частотної характеристики передспотворювального фільтра. Це фільтр нижніх частот, який має значний коефіцієнт передавання у смузі частот, яку займають корисні повідомлення, і малий коефіцієнт передавання за її межами (таким фільтром, зокрема, може бути інтегрувальне коло).

Таким чином, за відсутності ІЗ корисне повідомлення у блоці подавлення ІЗ не зазнає спотворень. Якщо ж з'являється ІЗ, то вона проходить на вхід обмежувача практично без спотворень і, маючи високий рівень, у ньому обмежується. Це помітно знижує спотворення повідомлення в моменти появи ІЗ. Додаткове зменшення зазначених спотворень забезпечує коригувальний фільтр, в якому подавляються високочастотні складові цих спотворень.

Аналіз завадостійкості такого методу виконано в [76]. Цей метод подавлення ІЗ, як і метод Щукіна, неефективний у разі багатоканальних широкосмугових систем зв'язку, оскільки не дозволяє з достатньо високою точністю відновлювати ділянки корисного повідомлення, що зазнали спотворень під час дії ІЗ.

Значно ефективнішими виявляються методи подавлення ІЗ, в яких відновлення спотворених унаслідок дії ІЗ ділянок корисного повідомлення здійснюється за рахунок екстраполяції або інтерполяції його значень на цих ділянках. У цих пристроях існують блоки виявлення ІЗ (БВІЗ), за допомогою яких визначаються ділянки корисного повідомлення, ураженого ІЗ. Такі пристрої дають змогу відновлювати корисні повідомлення зі значно більшою точністю, аніж це вдається робити іншими відомими методами [74].

5.4.2. Подавлення імпульсних завад методом екстраполяції спотворених значень корисного сигналу

Схему пристрою захисту від ІЗ, в якому для відновлення вражених ділянок корисного сигналу використовується екстраполяція, зображено на рис. 5.19.

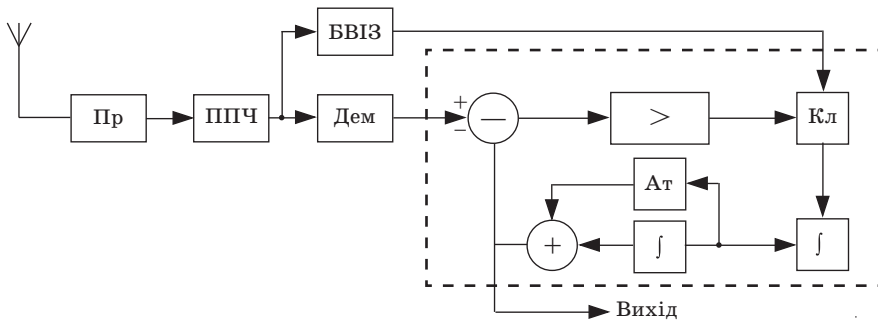


Рис. 5.19. Схема пристрою захисту від ІЗ (Пр — приймач)

У цьому пристрої БВІЗ підімкнено до виходу підсилювача проміжної частоти (ППЧ). На виході демодулятора Дем (яким може бути, зокрема, частотний дискримінатор, якщо повідомлення передаються за допомогою ЧМ), установлюється пристрій подавлення ІЗ (ППІЗ).

Він являє собою підсилювач із колом зворотного зв'язку, яке в загальному випадку містить N послідовно ввімкнених інтеграторів, котрі можна реалізувати на операційних підсилювачах. Виходи інтеграторів через атенюатори Ат об'єднано в суматорі.

За відсутності ІЗ сигнал з виходу підсилювача через ключ Кл надходить на вхід першого інтегратора. Виявлення ІЗ призводить до спрацьовування БВІЗ, і за допомогою ключа на вхід першого інтегратора подається напруга, що дорівнює нулю. У цьому пристрої екстраполяція вражених ІЗ ділянок сигналу здійснюється рядом Тейлора.

Аналіз роботи наведеного на рис. 5.19 пристрою із двома інтеграторами [76] показав, що коли коефіцієнт підсилення підсилювача в його колі зворотного зв'язку дорівнює K_0 , то мінімальні лінійні спотворення сигналу в цьому пристрої відбуваються в тому разі, коли атенюатор має коефіцієнт передавання, що дорівнює $1/\sqrt{K_0}$.

При цьому смуга пропускання розглядуваного пристрою за рівнем мінус 3 дБ становить $f_0/\sqrt{K_0}$, де f_0 — частота, на якій коефіцієнт передавання інтегратора дорівнює 1. Окрім того, у [76] показано, що в тому разі, коли на вході даного пристрою відношення сигнал/тепловий шум значне, на його виході забезпечується відношення сигнал/шум у телефонному каналі, дБ,

$$\rho_{\text{вих}} = 10 \lg \left[(\mu_0/100) \bar{\omega}_B^{-4} F(f_0 \tau_0) \right]^{-1} \quad (5.9)$$

Тут μ_0 — шпаруватість ІЗ ($\mu_0 = \tau_0/T_0$, де τ_0 — тривалість ІЗ); $\bar{\omega}_B = 2\pi f_B \tau_0$, де f_B — верхня частота спектра корисного сигналу, що діє на виході демодулятора, наведеного на рис. 5.19; функція $F(f_0 \tau_0)$ визначається так:

$$F(f_0 \tau_0) = 1 + 3/\bar{\omega}_3,$$

де $\bar{\omega}_3 = 2\pi f_0 \tau_0 \sqrt{K_0}$.

Для перевірки теорії було здійснено моделювання роботи пристрою на ПК. При моделюванні припускалося, що шуму на вході пристрою немає ($\rho_0 = \infty$), а реалізація корисного повідомлення подавалася сумою гармонічних коливань із однаковими амплітудами та випадковими фазами, що займають смугу частот f_B .

Теоретичні (суцільні лінії) та здобуті в результаті моделювання (пунктирні лінії) графіки залежності відношення сигнал/шум $\rho_{\text{вих}}$, дБ, у телефон-ному каналі від відношення $\bar{\omega}_3/\bar{\omega}_B$ наведено на рис. 5.20 (криві 1, 2 і 3 побудовано для значень $\bar{\omega}_B/2\pi = 1/16, 1/8$ і $1/4$ та $\mu = \bar{\omega}_B/32\pi$).

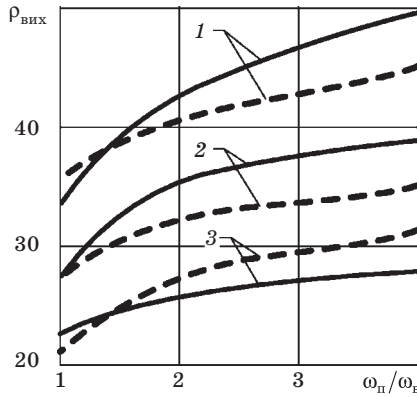


Рис. 5.20. Графіки залежності $\rho_{\text{вих}}$ від відношення $\bar{\omega}_3/\bar{\omega}_B$

Зауважимо, що криві на рис. 5.20 ілюструють близький кількісний збіг результатів моделювання з аналітичними. Порівняння дослідженого пристрою подавлення ІЗ з іншими відомими простішими пристроями, в яких застосовується метод бланкування, або обмеження сигналу, показує, що цей пристрій дає змогу досягати істотно вищої точності відновлення вражених ІЗ ділянок корисного повідомлення.

5.4.3. Подавлення імпульсних завад методом інтерполяції спотворених значень корисного сигналу

Схему пристрою, в якому для відновлення вражених ІЗ ділянок КС застосовується інтерполяція [76], наведено на рис. 5.21, де використано такі позначення: Пр — приймач; Інт — інтерполятор; ЕК — електронний ключ; ЛЗ — лінія затримки; ДК — диференціювальне коло; Ат — атенюатор.

Інтерпольований сигнал разом із сигналом, що діє на середньому відводі ЛЗ, надходить на входи ЕК, керованого за допомогою БВІЗ; при виявленні ІЗ на вихід ЕК надходить сигнал із виходу Інт.

У результаті дослідження цього пристрою встановлено оптимальні значення коефіцієнтів передавання атенюаторів:

$$\beta_0 = 1, \beta_1 = 1/2, \beta_2 = 1/24 \text{ і } \beta_k \approx 4/\pi^{2(k+1)} \text{ при } k \geq 3. \quad (5.10)$$

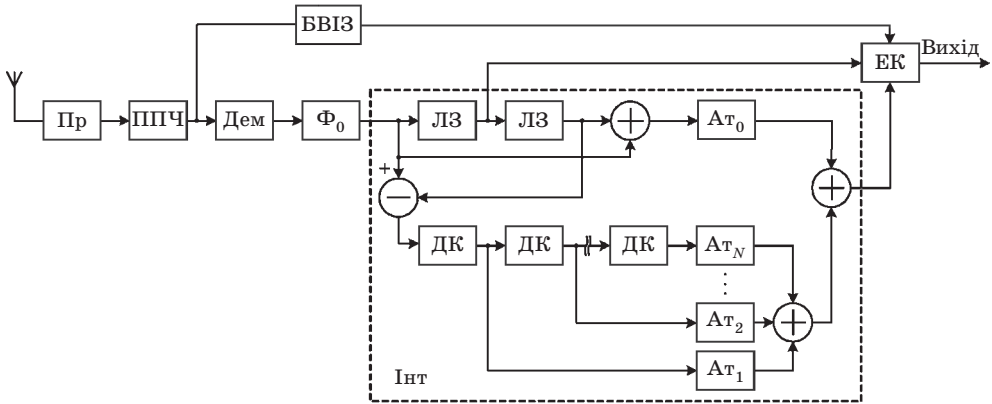


Рис. 5.21. Схема пристрою відновлення КС методом інтерполяції

У [76] показано, що в разі застосування інтерполятора $(k - 1)$ -го порядку відношення сигнал/завада на виході пристрою відрізняється від аналогічного відношення на його виході, якщо використовується інтерполятор нульового порядку на $\eta_k(\tilde{\rho}_0)$ дБ, де

$$\eta_k(\tilde{\rho}_0) = 10 \lg \left[\frac{\beta_0 (2\pi f_B / F_0)^3 + P_0 / \rho_0 (2\pi f_B / F_0)}{\beta_k (2\pi f_B / F_0)^{4k+3} / (4k+3) + P_k / \rho_0 (2\pi f_B / F_0)} \right]. \quad (5.11)$$

Тут використано ті самі позначення, що й у (5.10), а також позначено: $\tilde{\rho}_0$ — відношення потужності сигналу до потужності теплового шуму, дБ, що діє на виході Дем у смузі f_B ; F_0 — смугу пропускання фільтра Φ_0 , пов'язану з тривалістю τ_0 ІЗ співвідношенням $F_0 = 1/\tau_0$. Окрім того, у (5.11) $P_0 = 6,28$; $P_1 = 26,9$; $P_2 = 205$.

Залежності $\eta_k(\tilde{\rho}_0)$, побудовані для $k = 1$ і 2 та двох випадків $F_0/f_B = 4$ (штрихпунктирні криві) та $F_0/f_B = 10$ (штрихові криві) зображено на рис. 5.22.

Наведені криві показують, що при великих значеннях $\tilde{\rho}_0$ застосування інтерполятора 2-го порядку дає програш порівняно з інтерполятором 1-го порядку. Це пов'язано з тим, що в інтерполяторі з підвищенням його порядку зростає рівень теплових шумів. Проте варто зазначити, що порівняно з інтерполятором нульового порядку досягається значний (до 20 дБ) вигреш.

Зауважимо, що вигреш, який забезпечує інтерполятор нульового порядку порівняно з пристроєм, котрий використовує метод бланкування, становить близько 14 дБ.

У розглянутих раніше пристроях застосовується екстраполяція та інтерполяція корисних низькочастотних сигналів. Точність відновлення КС може бути високою лише в тому разі, коли час кореляції корисних повідомлень істотно перевищує тривалість ІЗ.

Проте в деяких випадках, наприклад, при захисті від ІЗ кольорової піднесної в телевізійній системі SECAM або ЧМ сигналу у приймальному пристрої рухомого зв'язку така умова не виконується.

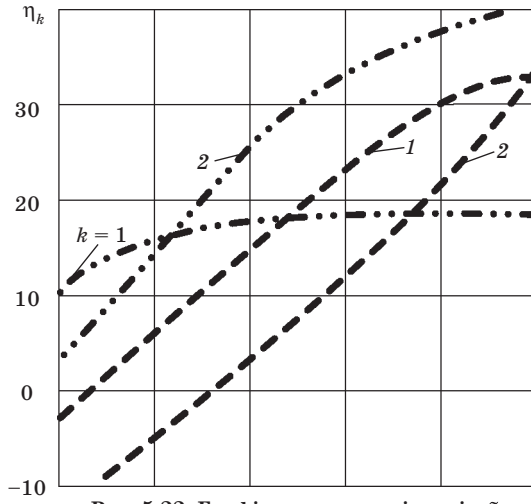


Рис. 5.22. Графіки залежності η_k від ρ_0

5.4.4. Подавлення імпульсних завад при прийманні повідомлень із істотно нерівномірним спектром

Істотну нерівномірність має, наприклад, спектр телевізійного сигналу, що містить як відеосигнал яскравості, так і сигнали кольоровості й звукового супроводу, що передаються на підносійних.

Схему пристрою, що дає змогу захистити від ІЗ приймання таких повідомлень, наведено на рис. 5.23.

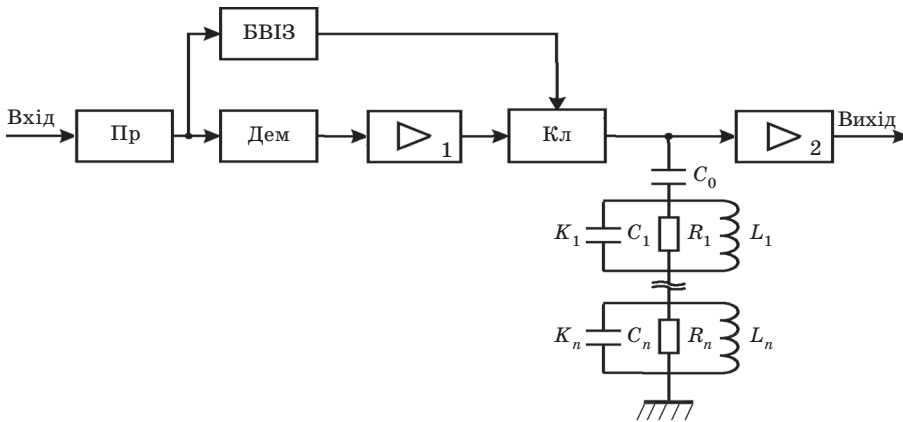


Рис. 5.23. Схеми пристрою захисту повідомлень від ІЗ

Після приймача Пр та демодулятора Дем увімкнено два підсилювачі, перший з яких (той, що має малий вихідний опір) навантажено на реактивний двополіусник із послідовно з'єднаними елементами — конденсатором C_0 , на якому виділяється низькочастотна складова КС (відеосигналу), та паралельними контурами K_n , настроєними на частоти максимумів спектра цього сигналу (частоти підносійних сигналів кольоровості й звуку).

Ту ІЗ, що впливає на вхід приймача, виявляє БВІЗ, в якому формується керуючий імпульс, котрий за допомогою ключа Кл розриває коло, яке пов'язує двополіусник із виходом першого підсилювача. При цьому ІЗ не впливає на двополіусник, і на його елементах протягом часу, що дорівнює трива-

лості ІЗ, зберігаються значення коливань сигналу, що належать різним (виділеним на цих елементах) ділянкам сигналу. Таким чином, спотворена ділянка КС заміщується в розглядуваному пристрої за допомогою екстраполяції.

Дослідження ефективності цього пристрою показали, що для випадку, коли на його входах діє сума двох сигналів, спектр яких сконцентровано на частотах ω_1 і $\omega_2 = 2\omega_1$, вдається отримати на 19,5 і 13 дБ більші значення відношення сигнал/шум, ніж у разі застосування пристроїв подавлення ІЗ за допомогою методу відповідно екстраполяції 2-го порядку та бланкування.

Було проведено експериментальні дослідження [76] щодо можливості застосування пристрою подавлення ІЗ, наведеного на рис. 5.23, для захисту від ІЗ приймачів телевізійних сигналів за системою SECAM системи супутникового телевізійного мовлення «Екран». Результати експериментальних досліджень показали, що в разі надійного виявлення ІЗ запропоновані пристрої забезпечують необхідне їх подавлення.

5.5. Подавлення імпульсних завад у системах зв'язку магістральних тропосферних радіорелейних ліній

Подавлення імпульсних завад у системах зв'язку із частотним рознесенням продемонструємо на побудованій в Росії в діапазоні частот 800 МГц мережі магістральних ТРРЛ із частотним рознесенням (ущільненням) та частковою модуляцією (ЧУ/ЧМ) «Північ», використовуваній для роботи національної системи повітряної радіонавігації (ПРН).

Ці лінії було розгорнуто в районах Крайньої Півночі та Сибіру. На станціях ТРРЛ застосовували частотне рознесення та рознесене приймання. Чимало станцій ТРРЛ мережі «Північ» зазнавали впливу потужних ІЗ із боку РЕЗ ПРН, через що якість приймання повідомлень, передаваних по цих лініях, виявилася доволі низькою. Було проведено експериментальні роботи з визначення можливості розв'язання проблеми ЕМС для ТРРЛ і РЕЗ ПРН за допомогою їх територіального рознесення. Результати цих робіт показали, що такої можливості практично немає.

Для розв'язування проблеми захисту ТРРЛ від ІЗ у [76] було запропоновано ефективний метод подавлення ІЗ. Цей метод простий у реалізації, причому він дає змогу відновлювати вражений сигнал (практично за будь-якої тривалості завадних імпульсів) і в багатьох випадках забезпечує майже повне усунення впливу завад на завадостійкість приймання сигналів.

Функціональну схему відповідного пристрою наведено на рис. 5.24.

У системі з N -кратним частотним рознесенням одне й те саме багатоканальне повідомлення передається по n радіоканалах (що на рис. 5.24 умовно зображено у вигляді n передавачів і n приймачів, підімкнених до двох каналів передавання та приймання, що працюють на дві просторово рознесені антени).

В один тракт передавання за допомогою лінії затримки 1 вводиться часова затримка, що перевищує максимально можливу тривалість ІЗ. На прийманні аналогічна затримка вводиться у другий тракт за допомогою лінії затримки 2. Це дає змогу в разі відсутності ІЗ відновлювати передаване повідомлення на основі когерентного додавання всіх прийраних сигналів.

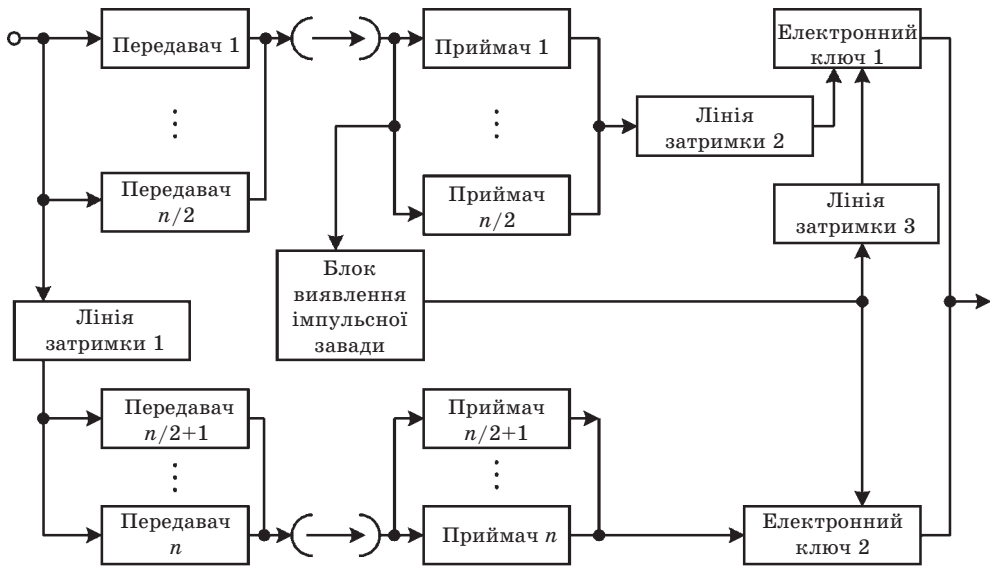


Рис. 5.24. Схема подавлення ІЗ у ТРПЛ

Коли відбувається вплив ІЗ, блок її виявлення за допомогою електронних ключів 1 і 2 відмикає на час дії завади той тракт приймання, в якому повідомлення вражено завадою. У процесі приймання передаване повідомлення відновлюється на основі когерентного додавання сигналів лише в тому тракті приймання, в якому ІЗ у цей час немає.

Було проведено теоретичні та експериментальні дослідження ефективності запропонованого методу [76], у результаті яких було оцінено якість передавання сигналів по телефонних каналах у ТРПЛ за двома параметрами: середньою потужністю $P_{\text{ш}}$ теплового шуму за хвилину для 20% (у загальному випадку $p\%$) часу та часткою $T_{\text{ш}}$ (у відсотках) часу, для якого незважена потужність шуму у звуковому каналі не перевищує значення $P_{\text{ш}} = 10^6$ пВт.

Оцінювання було виконано за таких припущень: по-перше, вважалося, що можна не брати до уваги заваду, викликану електронною комутацією групи каналів під час дії ІЗ, а по-друге, що ІЗ завжди виявляється відповідною системою виявлення.

У разі, коли рівень завади значно перевищує рівень КС (тобто в найважливішому випадку), розпізнавання завади схемою виявлення не викликає жодних проблем, а отже, друге припущення може вважатися таким, що відповідає дійсності. Хоча заваду, природно, важко виявити за малих рівнів, її вплив на завадозахищеність приймання в такому разі неістотний.

Цей метод ефективний з тієї причини, що в період дії ІЗ когерентне додавання виконується лише для половини ($n/2$) від загальної кількості частотно-рознесених сигналів. А отже, для середньої потужності $P_{\text{тр}\%}$ теплового шуму за хвилину на виході системи зв'язку, перевищеної не більш ніж у $p\%$ часу, можна записати:

$$P_{\text{тр}\%} = (2\tau_d/T)P_{\text{тр}\%}(n/2) + (1 - 2\tau_d/T)P_{\text{тр}\%}(n), \quad (5.12)$$

де $P_{\text{тр}\%}(n)$ і $P_{\text{тр}\%}(n/2)$ — середня потужність теплового шуму за хвилину на виході частотного детектора в системі з когерентним додаванням сигналу з відповідно n і $n/2$ вітками рознесеного приймання, перевищувана в $p\%$ часу;

τ_2 — інтевал часу замикання групи калів під час дії ІЗ тривалістю τ ($\tau > T$);
 T — період надходження імпульсів.

Незважаючи на потужність шуму P_Σ на виході демодулятора в системі з когерентним додаванням сигналу для даних ρ_1 і ρ_2 — значень відношення сигнал/шум на виходах двох просторово-рознесених каналів приймання — можна подати так:

$$P_\Sigma = (\tau_d/T)[P_{\tau_1}(\rho_1) + P_{\tau_2}(\rho_2)] + (1 - 2\tau_d/T)P_{\tau_3}(\rho_3), \quad (5.13)$$

де $\rho_3 = \rho_1 + \rho_2$.

Значення ρ_i ($i = 1, 2, 3$) є випадковими. Їхні флуктуації викликаються як швидкими, так і повільними завмираннями сигналу та завади. Значення $P_{\tau_i}(\rho_i)$ характеризують потужність шуму на виході відстежувального демодулятора, коли відношення сигнал/шум на його вході дорівнює ρ_i . Скориставшись рівнянням (5.10), можна оцінити значення $T_{\text{ш}}(\tau_d/T)$ — частки (у відсотках) часу, протягом якого незважаючи на потужність P_Σ шуму у звуковому каналі перевищує значення $P_{\text{ш}0} = 10^6$ пВт.

Якщо $P_{\text{тп}\%}$ і $T_{\text{ш}}$ визначено, то ефективність методу можна оцінити за допомогою таких коефіцієнтів:

$$\Delta P_{\tau}(\tau_d/T) = 10 \lg [P_{\text{тп}\%} / P_{\text{тп}\%}(n)], \quad (5.14)$$

$$T_{\text{ш}}(\tau_d/T) = T_{\text{ш}}(\tau_d/T) / T_{\text{ш}}[(\tau_d/T) = 0]. \quad (5.15)$$

Перший коефіцієнт визначає, на скільки децибел зростає середньохвилинна потужність теплового шуму на виході системи під час дії ІЗ. Другий коефіцієнт характеризує збільшення на виході системи частки (у відсотках) часу, для якої незважаючи на потужність шуму перевищує 10^6 пВт у процесі дії на вході ІЗ із даним коефіцієнтом заповнення τ_d/T .

Рівняння (5.12)–(5.15) було використано для розрахунку залежностей $\Delta P_{\tau}(\tau_d/T)$ і $T_{\text{ш}}(\tau_d/T)$ при $N = 4$ і 8 для 120-канальної ТРРЛ завдовжки 2400 км, що містить сім прольотів. Потужність передавача становила 5 кВт, а підсилення приймальної та передавальної антен дорівнювало 47,1 дБ.

Результати обчислень значень $P_{\text{тп}\%}$ і $P_{\tau_i}(\rho_i)$ у рівняннях (5.12) і (5.14), які наведені на рис. 5.25, показують, що для значень $(\tau_d/T) \leq 10^{-2}$ (випадок, що часто трапляється на практиці) цей метод подавлення ІЗ цілком усуває дію завади на роботу ТРРЛ.

Навіть при високих значеннях $(\tau_d/T) \leq 10^{-1}$ погіршення параметрів каналу внаслідок дії завади незначне ($\Delta P_{\tau} = 0,2$ дБ при $n = 8$; $T_{\text{ш}} = 2$). Оскільки зазвичай лише одна або дві станції, що утворюють частину лінії, зазнають впливу ІЗ одночасно, дія завади на параметри якості всієї лінії, яка складається з низки станцій, буде неістотною.

Зауважимо, що рис. 5.25 ілюструє також істотне підвищення завадозахищеності на приймальному боці в разі збільшення кратності n рознесеного приймання.

Обладнання для реалізації цього методу подавлення ІЗ було випробувано на 120-канальній ТРРЛ. Як джерело завади використовувався імпульсний генератор $\tau = 1$ мс, під'єднаний до спрямованої антени. Значення τ_d було взято таке, що дорівнює 1,5 мс. Рівень ІЗ на виході приймача перевищував медіанний рівень корисного сигналу на 15 дБ. Коефіцієнт рознесеного приймання становив 6.

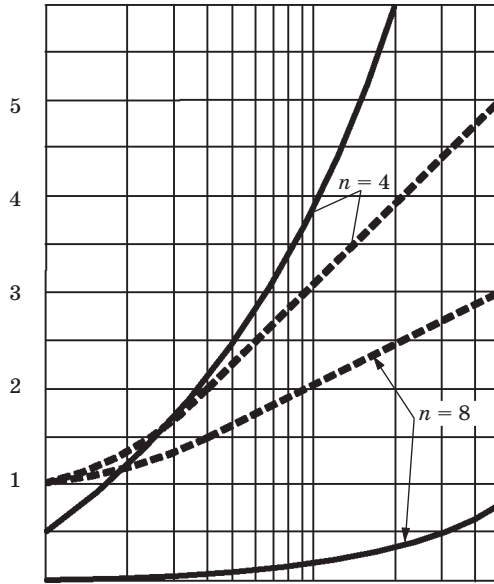


Рис. 5.25. Графіки залежності ΔP_τ (суцільні лінії) і $\bar{T}_ш$ (пунктирні лінії) від τ_d/T

Криві, побудовані за даними вимірювань (рис. 5.26), характеризують розподіл імовірностей значень

$$\rho(T_{ш}) = 10 \lg [10^9 / P_{ш}(T_{ш})]$$

відношення сигнал/шум в одному верхньому телефонному каналі, де $P_{ш}(T_{ш})$ — потужність такого шуму в каналі, який спостерігається протягом частки (у відсотках) часу $T_{ш}$.

Криву *A* отримано для випадку відсутності ІЗ; криву *B* — для випадку подавлення ІЗ, а криву *C* — для випадку, коли подавлення ІЗ немає.

Порівняння кривих *A* і *C* показує, що без застосування обладнання для подавлення завади відбувається істотне (близько 25 дБ у 20% часу) зростан-

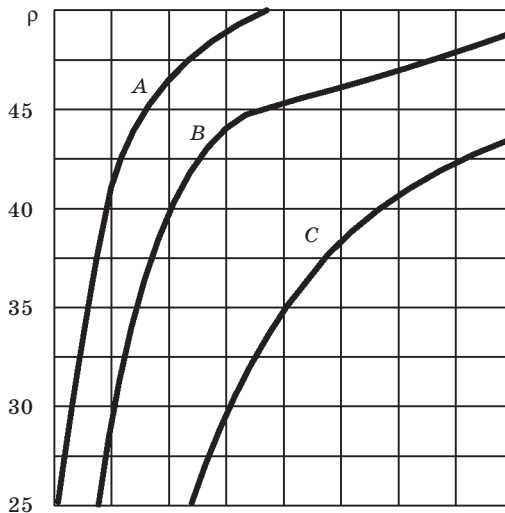


Рис. 5.26. Графіки залежності відношення ρ сигнал/шум від $T_{ш}$

ня потужності шуму в телефонному каналі. Порівняння кривих B і C показує, що цей метод подавлення шуму значно (на 15 дБ у 20% часу) зменшує потужність шуму.

На підставі порівняння кривих A і B можна зробити висновок, що завадозахищеність на приймальному боці в разі подавлення ІЗ близька до наявної за відсутності завади. Деяке (приблизно на 5 дБ) зростання потужності шуму в телефонному каналі порівняно з розрахунковими результатами може відбуватися через наявність шуму комутації.

Таким чином, цей метод подавлення ІЗ дав змогу розв'язати доволі важливу й гостру проблему 1990-х років — забезпечення захисту від ІЗ ТРРЛ мережі «Північ». Зазначений метод дозволяє забезпечити спільне використання одних і тих самих смуг частот будь-яких систем, де застосовується частотне рознесення сигналів, із РЕЗ, що випромінюють імпульсні сигнали.

У цьому розділі було розглянуто можливості забезпечення ЕМС РЕЗ за допомогою одно та двоканальних КЗ для систем зв'язку із ЧМ, а також різноманітних пристроїв подавлення ІЗ. Наведено співвідношення, що дозволяють оцінити ефективність подавлення радіозавад за допомогою цих пристроїв.

Основні висновки, що випливають з наведеного аналізу, полягають ось у чому:

- Одноканальний ітераційний КЗ, що має 2–3 ступені ітерації, дозволяє реалізувати потенційні можливості розділення двох ЧМ сигналів різних рівнів, що займають одну й ту саму смугу частот.

- Двоканальні КЗ для систем зв'язку із ЧМ є ефективним засобом подавлення радіозавад, що виникають на проміжних станціях РРЛ зв'язку, а також на земних станціях супутникових систем зв'язку. Розвинена теорія дозволяє визначати оптимальні параметри досліджених КЗ, за яких досягається найбільше подавлення завадного сигналу.

- У системах зв'язку, які зазнають впливу потужних ІЗ, єдиним ефективним засобом їхнього подавлення є відновлення вражених ІЗ ділянок корисного повідомлення за допомогою екстраполяції або інтерполяції. Виконані теоретичні дослідження, підтверджені результатами їх моделювання на ПК, дають змогу визначити оптимальні параметри розглянутих пристроїв і якість приймання корисних сигналів, якої можна досягти в разі їх використання.

- Для подавлення ІЗ у системах, де спектр КС істотно нерівномірний (наприклад, у системах приймання телевізійного сигналу, в якого є кілька складових: відеосигнал яскравості, кольорова підносійна та підносійна звукового супроводу), можна застосувати спеціальний тип екстраполятора, який уможливорює екстраполяцію всіх складових такого сигналу. Теоретичні та експериментальні дослідження показали ефективність цього пристрою і водночас дали змогу створити методологію оптимального його проектування.

- Описаний у цьому розділі пристрій подавлення ІЗ у системах зв'язку, в яких відбувається передавання сигналів по кількох каналах, рознесених за частотою, дозволяє практично цілком позбавитися від впливу ІЗ на якість приймання корисних сигналів. Застосування цього пристрою дозволило повністю розв'язати проблему захисту від потужних ІЗ станцій тропосферних радіорелейних ліній зв'язку мережі «Північ».

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. За якою ознакою розрізняють адитивні та мультиплікативні завади?
2. Аргументуйте доцільність і корисність застосування компенсаторів радіозавад в інтересах ЕМС.
3. Аргументуйте, чому процеси компенсації та адаптації можна розглядати як засоби зниження рівня завад.
4. На прикладі узагальненої схеми адаптації поясніть, як функціонує адаптивний компенсатор радіозавад.
5. Наведіть приклад компенсатора у вигляді суматора на вході радіоприймача.
6. Як функціонують адаптивні компенсатори із кількома компенсаційними (опорними) входами?
7. Як послаблюються завади від радіорелейних станцій при використанні компенсаторів завад у земних станціях супутникового зв'язку?
8. Які існують типи компенсаторів імпульсних завад? Наведіть їх стислий опис.
9. Аргументуйте можливості зниження радіозавад у неадаптивних антенних системах на прикладі застосування багатопробенемих антен у супутниковій службі.
10. Поясніть принцип адаптації радіозавад у антенних системах.
11. У чому полягає умова повної компенсації в антенній системі?
12. Які види радіозавад можуть виникати в системах радіозв'язку?
13. Які технічні засоби можуть застосовуватися для подавлення неперервних завад у системах зв'язку із частотною модуляцією? Наведіть структурну схему оптимального відстежувального компенсатора завад для двох ЧМ сигналів.
14. Опишіть оптимальний компенсатор завад і наведіть його структурну схему для випадку розділення двох сигналів із аналоговою модуляцією.
15. Складіть схему подавлення імпульсних завад при прийманні телевізійного сигналу та поясніть принцип роботи використовуваного при цьому блока виявлення імпульсних завад.
16. Поясніть принцип функціонування схеми компенсації мультиплікативних завад.
17. Аргументуйте, чому використання радіосистем із розширенням спектра сприяє розв'язанню завдань ЕМС РЕЗ.
18. Доведіть доцільність адаптації РЕЗ за іншими (окрім потужності) параметрами у складній ЕМО.
19. Наведіть класифікацію компенсаторів за способом обробки сигналів, а також назвіть критерії та алгоритми адаптації при побудові компенсаторів.
20. Наведіть приклади використання багатофункціональних систем електрозв'язку для зменшення завад.

РОЗДІЛ 6

КРИТЕРІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

6.1. Загальні положення

Із впливом радіозавад на технічні засоби пов'язане поняття електромагнітної обстановки (ЕМО).

ЕМО може бути зовнішньою щодо розглядуваної системи (або окремого засобу) і внутрішньою — щодо складових цієї системи. Так, зовнішня ЕМО радіоприймача визначається впливом завад (і сигналу) через антену. Внутрішня ЕМО актуальна передусім для комплексів РЕЗ і характеризується полями завад близької зони (тобто тих, що діють через антену) та завадами в колах живлення, управління, заземлення тощо.

Розрахунки ЕМС, зумовленої зовнішньою ЕМО, має свої особливості для кожної радіослужби.

Розрахунки ЕМС, зумовленої внутрішньою ЕМО складного комплексу РЕЗ, зазвичай складніші. Особливою складністю характеризується внутрішня ЕМО в комплексі обладнання літаків, морських суден, штучних супутників Землі, в угрупованнях мобільних радіозасобів тощо. Наприклад, у літаковому комплексі (до складу якого входять кілька десятків РЕЗ та низка антен) можна виявити майже всі види завад. Вони можуть поширюватися у близькій і далекій зонах шляхом випромінювань через антени та поза ними, а також у процесі поширення у провідних середовищах, зокрема у проводах монтажної схеми комплексу.

Найважливішою особливістю ЕМО є її *ймовірнісний характер*. Тому при її аналізі застосовують статистичні методи оцінювання.

Поняття ЕМО пов'язане із впливом завад на якість функціонування РЕЗ. Нормальне функціонування засобу оцінюється за критерієм (числовим показником) забезпечення його ЕМС із джерелами завад.

Критерій ЕМС — це припустиме відношення сигнал/завада на вході приймального пристрою за умови, що його числове значення визначається за припустимим ефектом впливу завади на якість прийнятого сигналу, тобто за припустимим числовим відношенням сигнал/завада *на виході пристрою*. У свою чергу, це значення визначається втратою інформації (спотвореннями) у прийнятому сигналі, що залежить від призначення системи радіопередавання та вимог до якості сигналу при його використанні.

Критерій ЕМС залежить від класу прийманих випромінювань та виду завади.

Для більшості радіослужб встановлено певні норми й стандарти якості роботи РЕЗ, що враховують технічну здійсненність та економічну доцільність такої роботи.

Наприклад, для систем радіозв'язку вноrmується мінімально припустиме відношення корисного сигналу (КС) до шуму на виході радіоприймача, за якого забезпечується нормальна робота РЕЗ радіослужби. Зазначеному відношенню відповідає цілком повний коефіцієнт $K_{\text{прип}}$ (у співвідношенні (2.1)). Це означає, що відношенню сигнал/завада на виході приймача ставиться у відповідність аналогічне відношення на вході приймача.

Для систем фіксованої наземної та фіксованої супутникової служб установлено *максимально припустимі рівні шуму в телефонному та телевізійному каналах* у точках із певними рівнями КС на виходах гіпотетичних еталонних кіл.

Для систем передавання цифрових сигналів установлено *максимально припустиму частоту помилок* приймання символу на виході гіпотетичного еталонного цифрового тракту.

Свої критерії якості функціонування мають РЕЗ служб радіовизначення, радіомовлення тощо.

Наприклад, для радіомовних служб критерієм ЕМС слугує «захисне відношення».

Захисне відношення — визначене за певних зазначених умов мінімальне значення відношення КС до завади на вході приймача (зазвичай виражене в децибелах), яке дає змогу отримати встановлену якість приймання на виході приймача.

Для деяких служб критерієм ЕМС слугує такий *рівень завадного сигналу (ЗС) на вході приймача, який перебуває на 5...10 дБ нижче від рівня власних шумів приймача*.

Під час роботи кількох радіослужб у спільних смугах частот можуть виникати взаємні завади, тому для забезпечення нормального функціонування РЕЗ установлюються *критерії ЕМС суміщуваних служб*. Ці критерії не повинні утруднювати розвиток суміщуваних систем відповідних служб, а мають ґрунтуватися на компромісі між припустимим рівнем завади для однієї служби та мінімальним рівнем потужності передавання, який забезпечує задану якість функціонування іншої служби. Тому критеріями ЕМС зазвичай слугують такі значення взаємних завад, при яких забезпечується нормальна робота РЕЗ суміщуваних служб. Наприклад, для фіксованої наземної та супутникових служб зазвичай це невелика (10% ... 20%) частка від повного припустимого рівня шуму.

Критерії ЕМС радіослужб розробляє МСЕ-Р і вони знаходять відображення у відповідних звітах і рекомендаціях. До таких Рекомендацій зокрема належать Рекомендації ITU-R:

64 — Про потрібні захисні відношення та мінімальні напруженості поля;
F.240-6 — Різні захисні відношення, зокрема загасання;
BS.412-9 — Захисні відношення для звуку з ЧМ у діапазоні ДВЧ;
BS.560-4 — Захисні відношення для звуку в діапазонах НЧ, СЧ, ВЧ;
BT.565-0 — Захисні відношення для 625-рядкових ТБ систем від РЧ у смузі 582...606 МГц;

F.566 — Визначення захисних відношень для радіомовлення;

F.589 — Захисні відношення для радіонавігації;

ВО.600-1 — Стандартна група умов тестування та вимірювальних процедур для суб'єктивного і об'єктивного визначення захисних відношень для телебачення в наземній радіомовній та радіомовній супутниковій службах;

- М.631-1 — Фазовані захисні відношення для радіонавігації;
- F.638 — Захисні відношення щодо РЧ/ЗЧ для звуку;
- F.641 — Захисні відношення для звуку з ЧМ;
- ВТ.655-7 — Захисні відношення для ТБ із АМ;
- 669-1 — Захисні відношення при дослідженнях спільного використання спектра;
- S.671-3 — Необхідні захисні відношення для вузькосмугових систем передавання «один канал на носійну» (ОКН) від завад із боку аналогових телевізійних сигналів;
- S.792 — Захисні відношення щодо завад для радіомовної (телевізійної) супутникової служби в діапазоні частот 12 ГГц;
- 1044-1 — Критерії спільного використання частот у радіоаматорській та радіоаматорській супутниковій службах;
- S.1063-0 — Критерії суміщення між фідерними лініями РМСС та іншими лініями Земля–космос або космос–Земля ФСС;
- S.1150-0 — Технічні критерії для використання під час експертизи ймовірності шкідливих завад між частотними присвоєннями у фіксованій супутниковій службі;
- М.1183-0 — Припустимі рівні завад у цифровому каналі геостаціонарної мережі рухомої супутникової служби в діапазоні 1...3 ГГц, викликаних іншими мережами цієї служби та фіксованою супутниковою службою;
- М.1231-0 — Завадні критерії для ліній космос–Земля, використовуваних супутниковою службою з негеостаціонарними супутниками в діапазоні 137...138 МГц;
- М.1232 — Критерії спільного використання смуги 137...138 МГц ліній космос–Земля рухомої супутникової служби із супутниками на негеостаціонарних орбітах;
- М.1234 — Припустимі рівні завад у цифровому каналі геостаціонарної супутникової мережі повітряної рухомої супутникової (R) служби (ПРС(R)С) у діапазонах від 1545 до 1555 МГц і від 1646,5 до 1656,5 МГц і відповідних фідерних лініях, викликані іншими мережами цієї служби та фіксованою супутниковою службою;
- SF.1271-0 — Ефективне використання спектра із застосуванням імовірнісних методів;
- ВО.1293-2 — Захисні маски та відповідні методи розрахунків завад радіомовним супутниковим системам, що використовують випромінювання в цифровому режимі;
- ВО.1297 — Захисні відношення для використання з метою планування при перегляді Планів;
- SF.1320 — Максимально припустимі значення густини потоку потужності на поверхні Землі, створюваного негеостаціонарними супутниками фіксованої супутникової служби, які використовуються у фідерних лініях рухомої супутникової служби й працюють в однакових смугах частот із радіорелейними системами;
- S.1323 — Максимально припустимі рівні завад у супутниковій мережі (ГСО/ФСС; НГСО/ФСС; фідерні лінії НГСО/ПСС) для гіпотетичного еталонного цифрового тракту (ГЕЦТ) фіксованої супутникової служби, створювані іншими мережами того самого напрямку, що працюють у діапазоні, нижчому за 30 ГГц.

6.2. Захисне відношення та методи його визначення

6.2.1. Захисне відношення та його використання як критерію ЕМС

Захисне відношення (ЗВ) за високою частотою визначається як мінімально припустиме (граничне) відношення $Q_{з\text{ прип}}$ потужності КС до потужності завадного сигналу (ЗС) на вході приймача, що дозволяє отримувати на його виході задану якість корисного сигналу [28; 29]:

$$Q_{з\text{ прип}} = \left(P_{с\text{ вх}} / P_{з\text{ вх}} \right)_{\text{прип}},$$

де $P_{с\text{ вх}}, P_{з\text{ вх}}$ — потужність на вході приймача відповідно КС і ЗС.

Зауважимо, що здебільшого ЗВ подають у децибелах згідно з виразом

$$Q_{з\text{ прип}} = 10 \lg \left(P_{с\text{ вх}} / P_{з\text{ вх}} \right)_{\text{прип}}.$$

Найчастіше ЗВ використовують як критерій ЕМС аналогових і цифрових систем радіозв'язку. Вибір такого критерію пояснюється тим, що якість сигналу на виході приймача зазвичай монотонно залежить від вхідного відношення сигнал/завада $Q_{вх} = P_{с\text{ вх}} / P_{з\text{ вх}}$. Дія завад призводить до погіршення характеристик КС на виході приймача, наприклад до збільшення коефіцієнта помилок, до зниження якості вихідного зображення і/або розбірливості мови.

На значення ЗВ впливає багато чинників, зокрема частотне рознесення між носійними КС і ЗС, вид і глибина їхньої модуляції, спосіб обробки сигналу й метод його кодування, характеристики приймача (його чутливість, вибірність) тощо.

Задана якість приймання КС за присутності ЗС забезпечується тоді, коли виконується критерій ЕМС у вигляді

$$Q_{вх} \geq Q_{з\text{ прип}}, \quad (6.1)$$

де $Q_{вх}$ і $Q_{з\text{ прип}}$ — відповідно відношення сигнал/завада на вході приймача і припустиме (потрібне) ЗВ, дБ.

Відношення сигнал/завада на вході приймача $Q_{вх}$ змінюється в часі випадковим чином, унаслідок чого умова ЕМС (6.1) протягом певної частки T (у відсотках) часу роботи каналу зв'язку може не виконуватися, а через це якість вихідного корисного сигналу на деяких часових інтервалах (при $Q_{вх} < Q_{з\text{ прип}}$) буде нижчою від заданої. Наприклад, у цифрових системах передавання в цьому разі коефіцієнт помилок перевищує припустиме значення протягом T відсотків часу. Тому в суміщуваних радіослужбах нормується частка часу ($T\%$) будь-якого місяця, протягом якого коефіцієнт помилок може перевищувати припустиме значення. Наприклад, у цифрових радіорелейних лініях (РРЛ) прямої видимості за наявності завад із боку фіксованої супутникової служби (ФСС) припускається збільшення тривалості періоду часу, коли коефіцієнт помилок перевищує 10^{-6} протягом не більш як 0,04% часу будь-якого місяця.

Потрібне значення ЗВ залежить від характеристик модуляції КС і ЗС, а також від різниці їхніх носійних частот. Зазвичай при передаванні аудіо чи відеоінформації визначення ЗВ для систем радіозв'язку здійснюється за допомогою суб'єктивних оцінок якості сигналів на їхньому виході. Умови вимірювань ЗВ визначено рекомендаціями МСЕ, а якість приймання оцінюється за п'ятибальною шкалою. У телевізійних каналах якість вихідного сигналу з оцінкою 4,5 бала відповідає появі ледь помітної завади на зображенні. Втрати якості вихідного КС під дією завад і залежність цих втрат від вхідного відношення сигнал/завада оцінюють безпосередньо отримувачі

повідомлень або група кваліфікованих експертів. Результати їхнього суб'єктивного оцінювання піддають статистичній обробці й подають у вигляді таблиці або графіка.

Наприклад, на рис. 6.1 наведено здобуті методом експертного оцінювання ЗВ для телевізійного сигналу стандарту SECAM D, K, коли на вході приймача діють завади у вигляді гармонічного коливання або ЧМ сигналу звукового радіомовлення. Зауважимо, що зазначені ЗВ подано на рис. 6.1 у вигляді функції від різниці частот носійних корисного (телевізійного) і завадного (ДВЧ ЧМ) радіосигналів. Такі завади можуть створюватися радіостанціями ДВЧ ЧМ звукового радіомовлення (діапазон робочих частот 88...108 МГц) при настроюванні телевізійного приймача на п'ятий ТВ канал, який займає смугу частот 92...100 МГц.

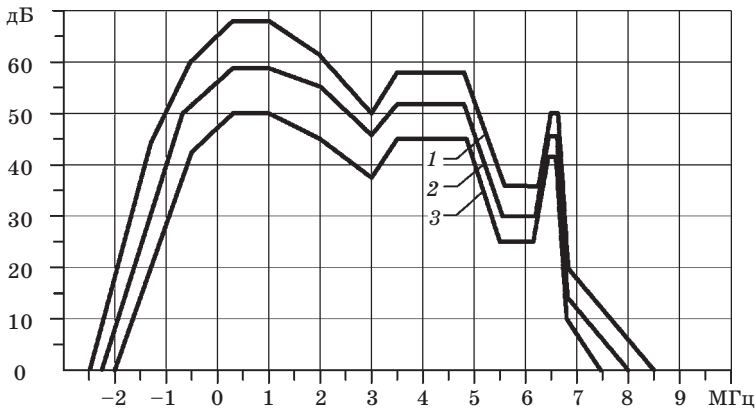


Рис. 6.1. Норми на захисні відношення для системи SECAM K, D при заваді від гармонічного коливання або ЧМ радіосигналу звуку: 1 — поріг помітності; 2 — добра якість; 3 — задовільна якість

Потрібне ЗВ на вході приймача можна визначити аналітичним (розрахунковим) способом, якщо відомі максимально припустимі значення рівня завад на виході приймача (у каналі зв'язку), або на вході демодулятора (для цифрових систем). Норми на гранично припустимі рівні взаємних завад для забезпечення ЕМС різних космічних і наземних радіослужб, які відповідають рекомендаціям МСЕ, наведено в [28]. Наприклад, у разі спільного використання смуг частот понад 1 ГГц фіксованими наземними службами (РРЛ) і фіксованими супутниковими службами (ФСС) при передаванні телефонних повідомлень в аналоговій формі припустима середньохвилинна психофотометрична потужність шумів на виході телефонного каналу (1000 пВт) може бути перевищена не більш ніж протягом 20% часу будь-якого місяця. У разі суміщення цифрових фіксованої супутникової та фіксованої рухомої служб максимальна потужність ЗС на вході приймача не повинна перевищувати такого значення, при якому частка завади становить не більш як 10% від загальної потужності шумів на вході демодулятора, що викликають появу помилок на його виході з імовірністю 10^{-6} . Припускається збільшення коефіцієнта помилок до 10^{-4} , але не більш ніж протягом 0,03% місяця [28]. Наведені параметри норм визначають критерії ЕМС різних космічних і наземних радіослужб, даючи змогу обчислювати припустимі рівні взаємних завад і потрібні ЗВ у разі їхньої спільної роботи у смугах частот, що перекриваються.

6.2.2. Вплив завад на приймач аналогової системи радіозв'язку

Корисний сигнал являє собою радіосигнал носійної, модульованої за частотою багатоканальним телефонним повідомленням із частотним розділенням каналів (сигнал виду ЧРК-ЧМ, клас випромінювання F8EJF). Завадним сигналом може бути довільний сигнал — аналоговий або цифровий. На виході приймача (каналу ТЧ) у точці з нульовим відносним рівнем КС ($P_c = 1$ МВт) психофотометрична зважена потужність завади P_3 , пВт, визначається виразом [28]

$$P_3 = P_{3\text{вх}} \Delta F_K k_3^2 10^9 F_K^2 D(b, \delta) / [P_{c\text{вх}} F_{c.в} B^2(F_K) \Delta f_K^2], \quad (6.2)$$

де $P_{3\text{вх}}$ — потужність завадного радіосигналу на вході приймача; $P_{c\text{вх}}$ — потужність корисного радіосигналу; $\Delta F_K = 3,1$ кГц — ширина смуги пропускання каналу ТЧ; $k_3 = 0,75$ — психофотометричний коефіцієнт; F_K — середня частота каналу в лінійному секторі; $F_{c.в}$ — верхня гранична частота спектра корисного повідомлення; $B(F_K)$ — коефіцієнт передспотворень; Δf_K — ефективна девіація частоти, що припадає на один канал.

Функція $D(b, \delta)$ являє собою згортку енергетичних спектрів КС і ЗС:

$$D(b, \delta) = \frac{\nu}{2} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} g_c(\gamma) g_3(\gamma) [\nu(b - \delta + \gamma)] d\gamma + \int_{-\infty}^{+\infty} g_c(\gamma) g_3(\gamma) [\nu(b + \delta - \gamma)] d\gamma \right\}. \quad (6.3)$$

Тут $g_c(\gamma)$, $g_3(\gamma)$ — нормалізований енергетичний спектр відповідно КС і ЗС, де $\gamma = (\omega - \omega_0) / \Omega_{c.в} = F / F_{c.в}$; $b = \Omega / \Omega_{c.в}$; $\nu = \Omega_{c.в} / \Omega_{3.в}$; $\delta = -\delta\omega / \Omega_{c.в} = (\omega_c - \omega_3) / \Omega_{c.в}$, де $\Omega_{c.в}$, $\Omega_{3.в}$ — верхня гранична частота спектра відповідно корисного і завадного модулюючого сигналу.

Значення $g_c(\gamma)$ і $g_3(\gamma)$, які входять у вираз (6.3), можна визначити за графіками нормалізованих енергетичних спектрів, наведених в [1]. Одну із сімей таких графіків, що характеризують спектри ЧМ радіосигналів залежно від значень ефективного індексу модуляції $M_e = \Delta f_{д.е} / F_B$, зображено на рис. 6.2, де по осі ординат відкладено значення $10 \lg g(\gamma)$, а по осі абсцис — відносну частоту γ .

Найбільшу потужність завади мають у верхньому телефонному каналі при $F_K = F_{c.в}$, $b = 1$. У цьому разі з урахуванням (6.2) ЗВ подається у вигляді [28]

$$Q_{3\text{прип}} = 88,43 - 10 \lg P_{3\text{прип}} + 20 \lg(F_{c.в} / \Delta F_K) - 10 \lg F_{c.в} + 10 \lg D(1, \delta), \quad (6.4)$$

де $P_{3\text{прип}}$ — максимально припустиме значення потужності завади від одного джерела на виході каналу ТЧ, яке дорівнює 800 пВт і перевищується протягом не більш як 20% часу місяця [28].

Формула (6.4) придатна для будь-яких видів завадних сигналів, які різнитимуться лише своїм внеском у вираз для функції $D(1, \delta)$.

У загальному випадку значення $D(1, \delta)$ знаходять чисельним інтегруванням за (6.3). Проте для деяких розглянутих далі частинних випадків формула (6.3) спрощується.

Завадний радіосигнал — аналоговий (ЧРК-ЧМ). Коли спектр ЗС значно ширший від спектра КС, то функцію $g_3[\nu(b \pm \delta \pm \gamma)]$ можна наближено вважати сталою і з огляду на це винести її за знак інтеграла у виразі (6.3). Тоді для нормалізованого спектра КС, що лишився під знаком інтеграла, справджується рівність

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g_c(\gamma) d\gamma = 1,$$

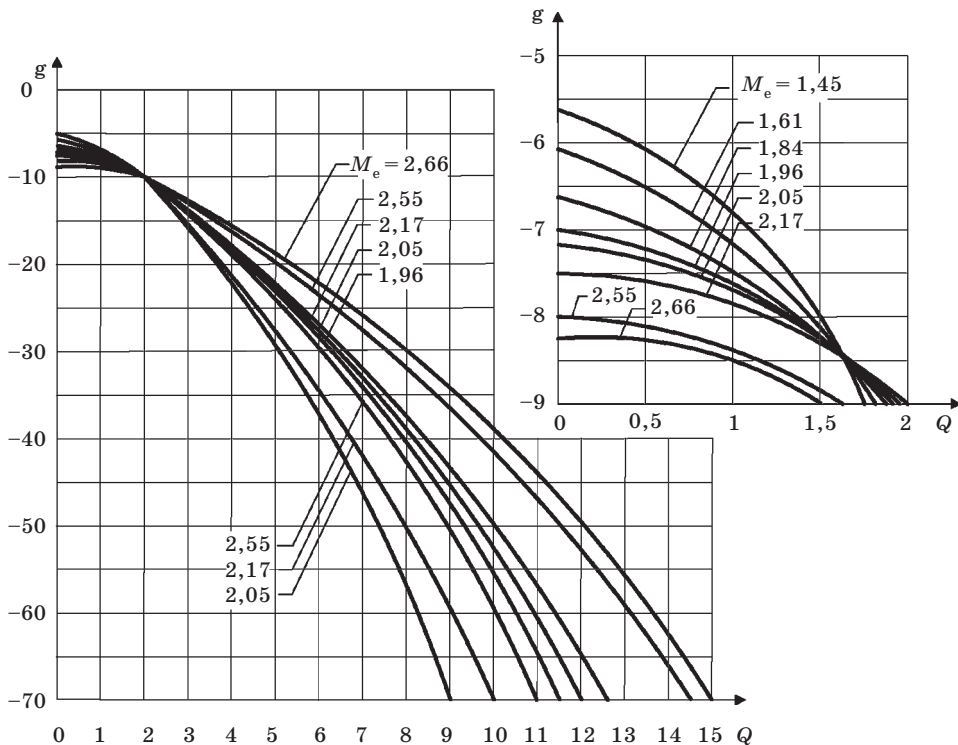


Рис. 6.2. Нормалізовані енергетичні спектри радіосигналів виду ЧРК-ЧМ

унаслідок чого вираз (6.3) при $b = 1$ перетворюється до виду [1]

$$D(1, \delta) \approx 0,5 \nu \{g_3 [(\delta - 1) \nu] + g_3 [(\delta + 1) \nu]\}. \quad (6.5)$$

У разі збігу частот носійних КС і ЗС радіосигналів $\delta = 0$, і тоді з (6.5) випливає:

$$D(1, \delta) \approx (F_{c.в.} / F_{з.в.}) g_3 (F_{c.в.} / F_{з.в.}). \quad (6.6)$$

Якщо до того ж завданя система має ту саму ємність, що й корисна, тобто $F_{з.в.} = F_{c.в.}$, то з (6.6) дістаємо:

$$D(1, 0) = g_{екв}(1), \quad (6.7)$$

де $g_{екв}$ визначається за графіками нормалізованих енергетичних спектрів, якщо індекс модуляції

$$M_{екв} = \sqrt{M_c^2 + M_z^2}.$$

В іншому випадку, коли спектр КС значно ширший за спектр ЗС, функція $D(1, \delta)$ обчислюється за формулами (6.5), (6.6) і (6.7) після заміни в них $g_3(\gamma)$ на $g_c(\gamma)$.

Обчислення за цими наближеними формулами забезпечують достатню точність, якщо в межах ширини спектра одного з радіосигналів, які взаємодіють, виміряного на рівні від мінус 25 дБ до мінус 30 дБ, спектральна густина потужності другого радіосигналу зменшується відносно максимальної не більш як на 3...5 дБ [28].

Завданний радіосигнал — носійна, модульована за фазою цифровим сигналом (сигнал типу ІКМ-ФМ, клас випромінювання G7EВТ). Якщо спектр

цифрового ЗС значно ширший за спектр КС ЧРК-ЧМ, а їхні носійні частоти збігаються ($\delta = 0$), то можна скористатися виразом [28]

$$D(1,0) = (F_{c.в} / \beta R) (\sin x / x)^2, \quad (6.8)$$

де R — швидкість передавання, біт/с; $\beta = 1$ у разі двопозиційної ФМ і $\beta = 0,5$ у разі чотирипозиційної ФМ; $x = \pi F_{c.в} / \beta R$ (величина $F_{c.в} / \beta R$ визначає частку потужності ЗС, яка потрапляє на вихід каналу КС).

Завадний радіосигнал цифровий типу «один канал на носійну». Завадний сигнал складається з багатьох носійних, кожна з яких модулюється цифровим сигналом одного каналу (один канал на носійну, ОКН). Наближено можна вважати, що енергетичний спектр такого сигналу рівномірний із верхньою граничною частотою $F_{з.в} = \beta R$. Якщо у смугу частот корисного сигналу ЧРК-ЧМ потрапляють N каналів системи ОКН, то

$$D(1,\delta) = 0,5 \sum_{i=1}^N [g_c(\delta_i - 1) + g_c(\delta_i + 1)], \quad (6.9)$$

де $\delta_i = \delta f_i / F_{c.в}$ — відносна різниця частоти носійної КС і частоти i -ї носійної сигналу ОКН.

6.2.3. Вплив завад на приймач супутникової цифрової системи радіозв'язку

У супутникових системах цифрового радіозв'язку КС зазвичай являє собою сигнал із M -позиційною ФМ (M -ФМ). Завади, що надходять на вхід приймача разом із КС, призводять до зростання кількості помилково прийнятих сигналів на виході демодулятора. Згідно з критерієм ЕМС потужність завади від одного джерела не повинна перевищувати a відсотків повної потужності $P_{ш}$ шумів на вході демодулятора приймача, за якої забезпечується задана якість зв'язку, що відповідає коефіцієнту помилок 10^{-6} . Якщо номінальне відношення потужності сигналу до потужності шуму $C/Ш = C_{ном} = 10 \lg(P_c / P_{ш})_{вх}$ на вході демодулятора забезпечує коефіцієнт помилок 10^{-6} , то згідно з критерієм ЕМС мінімально припустиме відношення потужності КС до потужності ЗС від одного джерела (тобто захисне відношення) становить

$$Q_{з\ прип} = C_{ном} + 20 - 10 \lg a.$$

Якщо у спектрі КС міститься N завадних сигналів однакової потужності, то ЗВ має бути збільшено в N раз, тобто

$$Q_{з\ прип} = C_{ном} + 20 - 10 \lg a + 10 \lg N. \quad (6.10)$$

В ідеальній системі цифрового радіозв'язку з 4-ФМ, в якій можна реалізувати теоретичну (потенційну) завадостійкість, імовірність появи помилок, що дорівнює 10^{-6} , забезпечується тоді, коли номінальне відношення потужності сигналу до потужності теплового шуму на вході демодулятора $C_{ном} \approx 14$ дБ [28]. Якщо на вході приймача поряд із тепловими шумами діє поодинокий завадний радіосигнал, то значення $C_{ном}$ зручно визначати за побудованими розрахунковим шляхом графіками, наведеними на рис. 6.3. Графіки характеризують залежність імовірності $P_{пом}$ появи помилок на виході демодулятора сигналів із 4-ФМ ($C/Ш = Q_{вх} = 10 \lg(P_{с\ вх} / P_{з\ вх})$) на вході приймача. Параметром сім'ї кривих є відношення $C/Ш$ на вході демодулятора. Із графіків на рис. 6.3 випливає, що при $C/Ш \approx 14$ дБ задана якість приймання цифрового сигналу на виході приймача з коефіцієнтом помилок 10^{-6} забезпечується, якщо на його вході відношення $C/Ш$ корисного сигналу до завадного становить не менш як 25 дБ.

Вираз (6.10) і дані графіків на рис. 6.3 справджуються для ідеального каналу зв'язку. У реальних каналах завжди існують певні енергетичні втрати, що знижують їхню завадостійкість порівняно з потенційною (теоретично можливою). Поява втрат спричинюється спотвореннями АЧХ і ФЧХ елементів тракту передавання сигналів, похибками синхронізації, нестабільністю частоти гетеродинів, коливаннями рівнів сигналів тощо. На основі дослідних даних та згідно з рекомендаціями МСЕ ці енергетичні втрати, дБ, (позначимо їх Δ) можна врахувати за допомогою такого співвідношення:

$$\Delta = 3 + 0,7 \log_2 M,$$

де M — кількість рівнів маніпуляції фази радіосигналу.

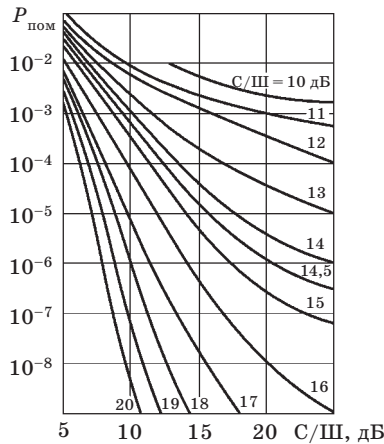


Рис. 6.3. Імовірність помилки для чотирипозиційної ($M = 4$) ФМ для різних значень відношення $C/Ш$

Як приклад до цього розділу далі наводиться основний зміст Рекомендації ITU-R SM.669-1 [136].

«Асамблея радіозв'язку, беручи до уваги, що:

— спільне використання частот є важливим аспектом ефективного використання спектра;

— для виявлення критеріїв спільного використання частот бажано визначити рівень завад, за яких будь-яке передавання, випромінювання або індукція негативно впливає на радіослужбу, а також те, що використання захисних відношень є одним зі способів визначення таких рівнів завад;

— рекомендації МСТ-Т установлюють критерії шуму й завад для комутованих мереж загального користування, яких може стосуватися випадок спільного використання спектра, **рекомендує**, щоб:

— у дослідженнях спільного використання спектра застосовувалися захисні відношення для різних типів модуляції, наведені в табл. 1 Рекомендації ITU-R SM.1669-1 [136], якщо немає точніших технічних відомостей;

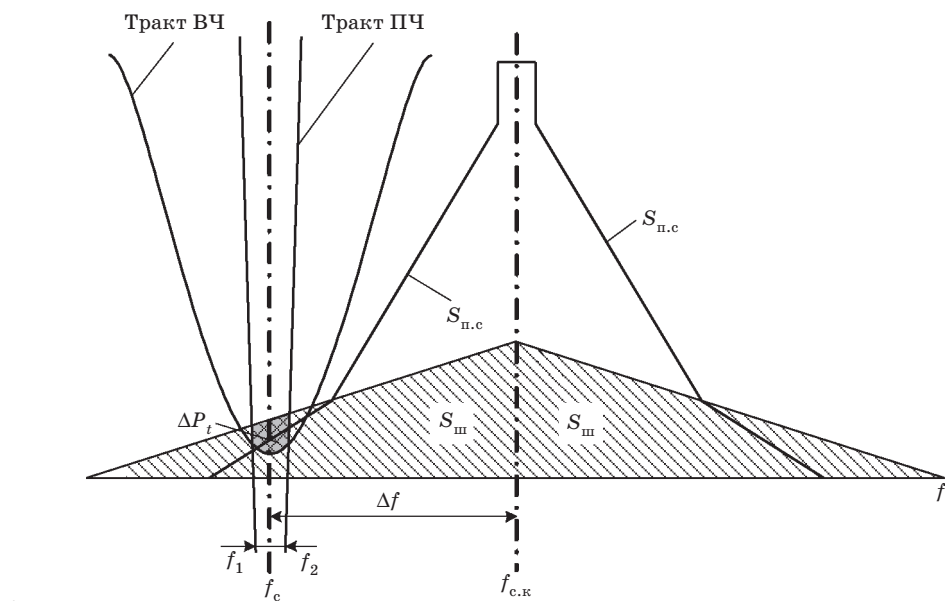
— у разі спільного використання частот, коли радіоканали підімкнено до комутованої мережі загального користування, також урахувалися відповідні критерії МСЕ-Т;

— у дослідженнях спільного використання частот застосовувалися захисні відношення, які наводяться в інших рекомендаціях МСЕ-Р.

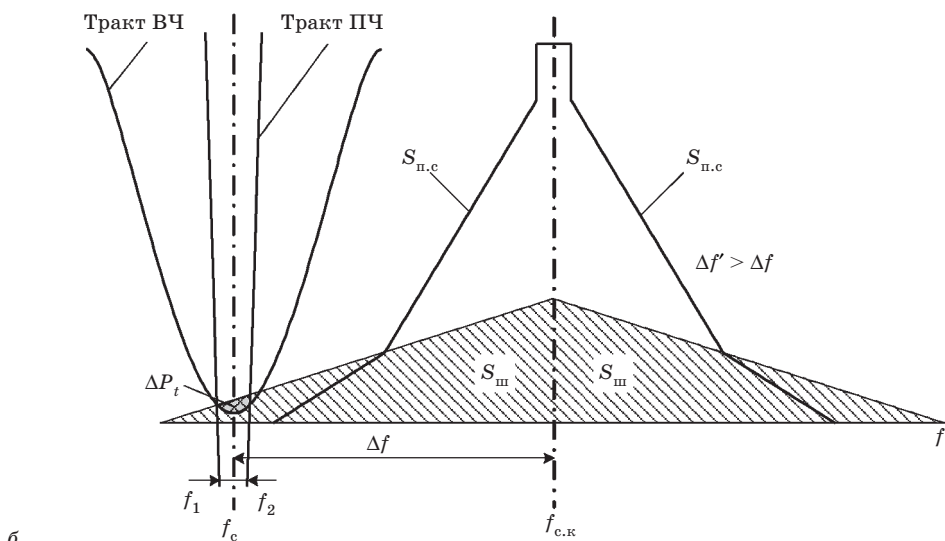
Для телефонних сигналів частку (у відсотках) розбірливості визначено за умови приймання англійської мови згідно з прийнятим у США методом АІ («індекс артикуляції»). Відношення сигнал/завада на вході приймача визначено для випадку рівності частот сигналу і завади ($\Delta f = 0$) або за наявності деякого розстроювання ($\Delta f \neq 0$), значення якого наведено у стовпці «параметри».

Проілюструємо, як можна скористатися наведеними критеріями на прикладі завади сусіднього каналу.

Вплив завади сусіднього каналу ($f_{c.к}$) на приймач, настроєний на частоту f_c , пояснимо за допомогою рис. 6.4.



а



б

Рис. 6.4. Вплив завади сусіднього каналу ($f_{c.к}$) на приймач, настроєний на частоту f_c

Якщо потужність завади сусіднього каналу $P_{c.k}$ невідома з експерименту, то її можна обчислити, скориставшись співвідношенням

$$P_{c.k} \leq P_{\text{пер.с.к}} + G_{\text{пер.с.к}} + G_{\text{прм}} - W_{c.k(r_3)} - D(\Delta f_{c.k}), \quad (6.11)$$

де $P_{\text{пер.с.к}}$ — потужність передавача в сусідньому каналі; $G_{\text{пер.с.к}}$ — коефіцієнт підсилення антени передавача сусіднього каналу; $G_{\text{прм}}$ — коефіцієнт підсилення приймальної антени в напрямі завадного передавача; $W_{c.k(r_3)}$ — послаблення потужності завади сусіднього каналу (загасання на трасі завадний передавач–приймач радіосигналу; $D(\Delta f_{c.k})$ — послаблення завади сусіднього каналу за рахунок вибірності приймача при розстроюванні завади сусіднього каналу відносно частоти настроювання приймача.

Послаблення $W_{c.k(r_3)}$ потужності завади сусіднього каналу обчислюють, використовуючи ту модель ПРХ, яка найбільше підходить для даного випадку. Послаблення $D(\Delta f_{c.k})$ урахують різними методами залежно від того, чи можна вважати тракт приймання лінійним, чи ні. Якщо тракт лінійний, то вплив завади визначається частиною енергетичного спектра $S_{\text{п.с.с.к}}$ позасмугових випромінювань і частиною енергетичного спектра $S_{\text{ш}}$ шумових випромінювань передавача, який створює завади (у смузі пропускання приймача сигналу залежно від розстроювання $\Delta f_{c.k}$ завади).

Нелінійні явища у приймачі виникають тоді, коли рівень завад на його вході перевищує мінус 70 дБВт, що за вхідного опору 50 Ом відповідає значенню напруги $U = 67,0$ дБмкВ.

Вибірні кола тракту радіочастоти найчастіше не послаблюють позасмугових завад сусіднього каналу. Тому, вважаючи відомими значення густини позасмугових завад $S_{\text{п.с.с.к}}$ і шумів $S_{\text{ш}}$ у смузі пропускання основної ПЧ приймача ($f_1 \dots f_2$), можемо обчислити частину потужності ΔP_t завади (у дБ) у смузі тракту ПЧ приймача:

$$\Delta P_t = 10 \lg \int_{f_1}^{f_2} S_{\text{п.с.с.к}}(f) df + 10 \lg \int_{f_1}^{f_2} S_{\text{ш}}(f) df. \quad (6.12)$$

Зі зростанням розстроювання $\Delta f_{c.k}$ (або послабленням позасмугових випромінювань) перший доданок прямує до нуля, а отже, потужність завади визначається шумовим спектром $S_{\text{ш}}$ випромінювання завадного передавача (рис. 6.4, б). У такий спосіб можна визначити відношення сигнал/ $\Delta P_{c.k}$ на вході приймача й порівняти з критерієм ЕМС за даною завадою.

Далі наведено приклад розрахунку ЕМС із радіостанцією сухопутної рухомої служби (діапазон 30...470 МГц), яка працює сигналами класу 16K0F3E на сусідньому каналі та задовольняє стандартні вимоги, а саме [9]:

- потужність завадного передавача $P_{\text{пер.с.к}} = 30$ Вт (≈ 15 дБВт);
- припустима потужність випромінювань передавача в сусідньому каналі $\Delta P_{c.k. \text{ прип}} \leq 10$ мкВт (-50 дБВт);
- чутливість приймача становить 1 мкВ (-137 дБВт);
- послаблення завади сусіднього каналу $D(\Delta f_{c.k}) = 70$ дБ.

Вважаючи, що послаблення потужності завади сусіднього каналу $W_{c.k(r_3)} = -70$ дБ, а значення коефіцієнтів підсилення антени дорівнює 1 (0 дБ), дістаємо згідно з (6.11) потрібне значення послаблення завади (у дБ) на трасі приймач–завадний передавач: $15 + 0 + 0 - (-70) - (-50) = -135$ дБ, що на 2 дБ перевищує мінімально можливу (-137 дБВт) потужність (чутливість) прийманого сигналу на вході приймача.

Щоб забезпечити належну якість прийнятого сигналу, завада має бути послаблена додатково на 14 дБ. Цього можна досягти, збільшивши або відстань до завадного передавача (територіальне рознесення), якщо це припустимо, або рознесення за частотою (частотне рознесення) причому завадному передавачу необхідно виділити не найближчий сусідній канал.

Розглянутий приклад показує, що обмежувальним чинником у даному разі виступає рівень випромінювань у сусідньому каналі. Як правило, це шумові випромінювання в сусідньому каналі, характерні для рухомих служб радіозв'язку. Так, у системі управління повітряним рухом (діапазон 225 ... 400 МГц) завади від шумових випромінювань передавачів становили близько 31% від загальної кількості зареєстрованих випадків завад, а завади по сусідньому каналу — близько 25%. Імовірність завад у цій службі по комбінаційних каналах приймання нижча — близько 14% випадків.

Трапляються численні випадки, коли доводиться враховувати ЕМС із джерелами, потужність яких перевищує динамічний діапазон (-70 дБВт), тобто коли тракт радіочастоти працює в нелінійному режимі. Інтермодуляційні завади, утворювані за рахунок нелінійності тракту радіочастоти, становили (у зазначеній щойно службі) близько 27% усіх випадків завад (причому близько 15% було утворено взаємодією двох, а близько 12% — трьох завад).

Далі (із метою ознайомлення зі специфікою радіоастрономічної служби) наведено зміст Рекомендації ITU-R RA.769-2 [137]. Критерії захисту, використовувані для радіоастрономічних спостережень та невеликий коментар до неї.

«МСЕ-Р, беручи до уваги, що:

— розвиток радіоастрономії привів до великих технічних досягнень, зокрема й у методах приймання, та до розширення знань про фундаментальні радіошумові обмеження, дуже вагомих для радіозв'язку, а також те, що очікуються нові важливі результати;

— радіоастрономи провели корисні астрономічні спостереження з поверхні Землі на частотах від 2 МГц до 800 ГГц та з космічних платформ на частотах до 10 кГц і нижчих;

— захист від завад необхідний для розвитку радіоастрономії та відповідних вимірювань;

— чутливість радіоастрономічної приймальної апаратури, яка поступово підвищується, значно більша за чутливість обладнання зв'язку й радіолакації;

— умови поширення на частотах, нижчих за 40 МГц, мають ту особливість, що передавач, який працює в будь-якому місці Землі, може створювати завади, шкідливі для радіоастрономії;

— деякі сигнали із супутників створюють завади радіоастрономії, яких не можна уникнути вибором місця для обсерваторії або захистом завдяки рельєфу місцевості;

— для певних типів радіоастрономічних спостережень необхідні тривалі (іноді до кількох днів) періоди безперервної реєстрації;

— завади радіоастрономії можуть створюватися наземними передавачами, сигнали яких відбиваються від Місяця, літаків, а також, можливо, штучними супутниками;

— під час деяких типів високоточних інтерферометричних спостережень доводиться здійснювати одночасне приймання на одній радіочастоті прий-

мальними системами, розміщеними в різних країнах або на різних континентах;

— деякий захист можна забезпечити відповідними присвоєннями частот на національній, а не на міжнародній основі;

— на всесвітніх конференціях радіозв'язку зроблено уточнені розподіли радіоастрономії, але захист у багатьох смугах, особливо спільно використовуваних з іншими службами, потребує ретельного планування;

— розроблено технічні критерії стосовно завад, шкідливих для служби радіоастрономії,

рекомендує:

— радіоастрономам вибирати пункти, по можливості вільні від завад;

— адміністраціям забезпечити весь можливий захист частотам, що їх використовують радіоастрономи у своїх і сусідніх країнах, з урахуванням рівнів завад, Додаток;

— адміністраціям при забезпеченні захисту конкретних радіоастрономічних спостережень слід вживати всіх доступних заходів для зниження до абсолютного мінімуму всіх небажаних випромінювань, що містяться у смузі частот, захищуваних для радіоастрономії, особливо випромінювань від літаків, космічних апаратів і повітряних куль;

— при визначенні розподілів частот адміністрації мають урахувувати, що для служби радіоастрономії дуже важко спільно використовувати частоти з будь-якою іншою службою, коли виникають траси прямої видимості від передавачів до обсерваторій. Понад 40 МГц суміщення можливе зі службами, передавачі яких не перебувають на лінії видимості з обсерваторіями, але координація може знадобитися, особливо в разі передавачів великої потужності.

Додаток 1. Чутливість радіоастрономічних систем

Найпростішим способом визначення чутливості спостереження в радіоастрономії є встановлення найменшої зміни рівня потужності ЛР на вході радіометра, яку можна з високою вірогідністю виявити та виміряти цим радіометром. Рівняння чутливості має вигляд

$$\Delta P/P = 1/\sqrt{2\Delta f_0 t}, \quad (6.13)$$

де P і ΔP характеризують потужність шуму, а f_0 — ширину смуги і t — час інтеграції.

Рівняння (6.13) також справджується, якщо P і ΔP — значення спектральної густини потужності. Отже, зміна ΔP спектральної густини потужності шумів у рівнянні (6.13) стосується чутливості системи (шумові флуктуації), вираженої в одиницях температури через сталу Больцмана k :

$$\Delta P = k\Delta T, \text{ або } P = kT. \quad (6.14)$$

При цьому рівняння чутливості набирає вигляду

$$\Delta T = T/\sqrt{2\Delta f_0 t}, \quad (6.15)$$

де $T = T_A + T_R$ і являє собою суму двох складових, перша з яких — це шумова температура антени за рахунок космічного фону, атмосфери Землі та земного випромінювання, а друга — шумова температура приймача.

Нехай порогові рівні завад подано у вигляді рівня завад, який вводить похибку 10% у вимірювання значення ΔP , тобто

$$\Delta P_H = 0,1\Delta P\Delta f. \quad (6.16)$$

Тоді можна обчислити:

- ΔT , використовуючи рівняння (6.15);

- ΔP , використовуючи рівняння (6.14);
- ΔP_H , використовуючи рівняння (6.16).

Завади можна також подати у вигляді густини потоку потужності, що падає на антену, причому або в усій ширині смуги, або у смузі шириною 1 ГГц — як спектральну густину потоку потужності S_H . Заради зручності значення наведено для антени, підсилення якої в напрямі приходу завад дорівнює підсиленню ізотропної антени (з ефективною площею $c^2/4\pi f^2$, де c — швидкість світла; f — частота).

Значення $S_H \Delta f$, дБВт/м², знаходимо з P_H додаванням $20 \lg f = 38,6$ дБ, де f подається в мегагерцах.

Обчислені рівні ґрунтуються на тому, що передбачуваний час накопичення становить 2000 с. Як відомо, час накопичення, реально використовуваний у радіоастрономічних спостереженнях, має широкий діапазон значень. Для безперервних спостережень поодинокими телескопами (а не інтерферометричними групами) реально характерним є час експозиції 2000 с. Це відповідає спостереженням високої якості. Проте нерідко цей час перевищується на порядок. Існують також певні типи спостережень, наприклад відстежування сонячних спалахів, для яких максимально досяжнучутливість може не знадобитися. Що ж до тривалості 2000 с, то вона менш характерна для спостережень спектральної лінії. Підвищення стабільності приймачів і розширене використання кореляційних спектрометрів — це ті чинники, які спонукають частіше використовувати збільшений час спостереження. Більш характерним значенням було б 10 год із відповідним підвищенням чутливості на 6 дБ.

Можна очікувати, що зміни приймальних систем приведуть до поліпшення характеристик у майбутньому. У високочастотній частині спектра, використовуваного радіоастрономами нині, удосконалення приймачів дасть, напевне, найбільший ефект. Якщо на частотах понад 30 ГГц можна отримати температуру приймача близько 10 К, то це приведе до підвищення чутливості орієнтовно на 6 дБ.

Модель типових рівнянь бічних пелюсток для великих параболічних антен у діапазоні частот 2...10 ГГц наведено в Рекомендації ITU-R SA.509-2 [138]. У цій моделі рівень бічних пелюсток зменшується зі зміною кутової відстані φ (у градусах) від осі основної пелюстки й становить $32-25 \lg \varphi$ (дБ за випромінюванням) при $10^\circ < \varphi < 48^\circ$. Рівень у 0 дБ маємо при відхиленні 19° від осі основної пелюстки. Джерело завад із густиною потоку потужності, що має порогові значення, буде шкідливим, якщо таку антену наведено в межах $\varphi = 19^\circ$ від нього. Отже, у деяких випадках завади, що перебувають нижче за шкідливі рівні, можуть створювати проблеми для радіоастрономів.

Завади від геостаціонарних супутників заслуговують на особливу увагу. Оскільки рівні потужності обчислено з розрахунку підсилення антени в 0 дБ за випромінюванням, шкідливі для астрономії завади виникатимуть, коли еталонну антену, що відповідає Рекомендації ITU-R SA.509-2 [138], зорієнтовано з відхиленням $\varphi = 19^\circ$ від супутника, що випромінює з рівнями, які відповідають наведеним у таблицях. Низка однотипних передавачів, розміщених з інтервалами 30° у районі геостаціонарної супутникової орбіти (ГСО), перешкоджатимуть радіоастрономічним спостереженням із високою чутливістю, здійснюваним зі смуги небесної сфери шириною 38° та з центром на цій орбіті. Втрата такої значної небесної зони призведе до серйозних обмежень для радіоастрономічних спостережень.

Отже, було б недоцільно подавлювати небажані випромінювання із супутників, нижчі від шкідливого рівня, коли основну пелюстку радіотелескопа наведено безпосередньо на цей супутник. У реальній обстановці пропонується використовувати проекцію ГСО в небесних координатах, коли йдеться про широти, з яких ведуться великі радіоастрономічні спостереження (див. Рекомендацію ITU-R RA. 517-3 [139]).

Навіть якби можна було наводити радіотелескоп у межах 5° орбіти без появи шкідливих завад, то й тоді смуга неба шириною в 10° була б недоступною для спостережень із високою чутливістю. Для будь-якої обсерваторії це було б відчутною втратою. Проте скомбінувавши радіотелескопи, розміщені в північних і південних широтах, які працюють на одній і тій самій частоті, можна вести спостереження всього неба. Тому значення в 5° слід розглядати як вимогу щодо мінімального кутового рознесення між основним променем радіоастрономічної антени та ГСО.

Для моделі антени (згідно з Рекомендацією ITU-R RA. SA.509 [138]) за рівень бічної пелюстки на куті 5° від основної пелюстки беремо 15 дБ. Коли супутники рознесено по ГСО на інтервали в кілька градусів, то рівні випромінювань, пов'язані з окремими передавачами, мають бути ще меншими для виконання вимоги про те, щоб сума потужностей усіх завадних сигналів була на 15 дБ нижчою від ΔP_H .

Відомо, що зазначених обмежень випромінювань практично неможливо досягти для забезпечення спільного використання однієї і тієї самої смуги частот радіоастрономією та передаваннями по лінії вниз із супутників. Проте ці обмеження застосовні до небажаних випромінювань передавачів супутників, що потрапляють у смуги радіоастрономії, а також і до космічних служб, які створюють завади, що потребує, утім, ретельного оцінювання. Окрім того, при проектуванні нових радіоастрономічних антен слід прагнути до мінімізації рівня бічних пелюсток біля основної пелюстки, що є важливим засобом зниження завад від передавачів на ГСО.

Два чинники знижують чутливість до завад. Вони стосуються частоти крайових коливань, які спостерігаються тоді, коли об'єднуються вихідні сигнали двох антен, а також того, що у складових завад, прийнятих різними й широко рознесеними антенами, спостерігатимуться різні відносні часові затримки до їхньої перестроювання. Розгляд цих ефектів складніший, аніж випадок із поодинокими антенами, розглянутими раніше.

У широкому сенсі головним наслідком є те, що дієвий час спостереження, протягом якого завади впливають на вимірювання, знижується від повного часу спостереження до середнього часу одного природного крайового коливання.

Спостереження зазвичай займає від кількох секунд (для компактної решітки з найбільшим проектованим рознесенням $L' \sim 10^3 \lambda$, де λ — довжина хвилі) до менш ніж 1 мкс (для міжконтинентальних матриць із $L' \sim 10^7 \lambda$).

Таким чином, порівняно з поодиноким радіотелескопом інтерферометр має рівень несприйнятливості до завад, який за відповідних припущень зростає зі зростанням розмірів решітки, виражених через довжину хвилі.

Максимальна несприйнятливості до завад виникає для інтерферометрів і решіток, в яких рознесення антен достатньо велике, а можливість виникнення корельованої завади — дуже мала, як, наприклад, для наддовгобазової інтерферометрії (НДБІ). У такому разі наведені щойно положення не застосовуються.

Рівень несприйнятливості до завад визначається тією вимогою, що рівень потужності завадного сигналу не повинен становити більш як 1% від потужності шуму приймача для уникнення серйозних помилок у вимірюваннях амплітуди космічних сигналів. Рівні завад для типових спостережень у режимі НДБІ наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Рівні завад для типових спостережень у режимі НДБІ

Центральна частота f_c (рівня завад на інших частотах, використовуваних для НДБІ, можна визначати інтерполяцією), МГц	Рівень завад S_H , дБВт/(м ² ·Гц)
325,3	-215
611	-211
1413,5	-209
2695	-204
4995	-198
10650	-192
15375	-187
23800	-182
43000	-173
86000	-166

Варто зазначити, що використання великих інтерферометрів і решіток зазвичай пов'язане із досліджуваннями в режимі НДБІ дискретних джерел високої яскравості з кутовими розмірами в кілька десятих секунди дуги.

Коментар. Радіоастрономія доповнює спостереження оптичної астрономії та розширює знання щодо природи Всесвіту та фізичних процесів у ньому».

Радіоастрономічні спостереження поділяються на такі дві групи:

- спостереження дискретних спектральних ліній;
- спостереження неперервного спектра.

Необхідні для радіоастрономії смуги частот залежать від виду здійснюваних спостережень, але (на відміну від інших радіослужб) не визначаються кількістю передаваної інформації. Ширина смуги частот, необхідна для спостереження природних спектральних ліній, являє собою функцію швидкості та напрямку руху джерела радіосигналу. Водночас вимоги, які постають під час спостереження неперервного спектра, залежать від шумових характеристик сигналу, а саме: чим ширша смуга частот, тим точніш й швидше можна виконати вимірювання.

У будь-якому разі сигнали, отримувані при радіоастрономічних спостереженнях, надзвичайно слабкі й здебільшого перебувають нижче від рівня навколишніх шумів звичайного приймача. Тому астрономам доводиться користуватися великими антенами високої спрямованості, методами інтегрування сигналів, малошумовими підсилювачами, обираючи такі майданчики для розміщення апаратури в місцях, де рівень промислових шумів достатньо низький для проведення потрібних вимірювань.

Надчутливе приймання породжує серйозні проблеми з розміщенням радіоастрономічної апаратури, оскільки решта служб спирається на розподіл частот для захисту від завад звичайного рівня. Постає потреба в захисті й від індустриальних завад. Додаткові проблеми створюються й через розсіювання від літаків, які високо летять, а також через відбиття від штучних і природних супутників Землі тощо.

6.3. Координація частотних присвоєнь у разі спільного використання смуг частотного спектра

Критеріями МСЕ-Р керуються адміністрації, координуючи частотні присвоєння станціям суміщуваних служб, і на цій основі визначають необхідні умови їх виконання (місця розташування станцій, рознесення робочих частот, обмеження випромінюваної потужності тощо). При цьому адміністрації можуть припускатися деяких відхилень від установлених критеріїв (тобто деякого збільшення взаємних завад у важких умовах суміщення), якщо це не торкається інтересів інших адміністрацій. Для відповідних випадків у Регламенті радіозв'язку визначено такі терміни.

Припустима завада — спостережувана або прогнозована завада, що задовольняє кількісні критерії завади та критерії суміщення, які подаються в Регламенті або спеціальних угодах, передбачених Регламентом.

Прийнятна завада — завада з вищим рівнем, ніж припустимі завади, які узгоджено між двома чи кількома адміністраціями без завдання збитків іншим адміністраціям.

У супутникових службах використовують ще кілька термінів (при визначенні необхідності координації):

Шкідливі завади — завади, що заважають роботі радіонавігаційної служби чи інших служб безпеки або істотно погіршують якість, утруднюють або неодноразово переривають роботу служби радіозв'язку, що працює згідно з Регламентом.

Координаційна зона — зона навколо земної станції, яка працює спільно з наземними станціями в одній смузі частот, або навколо передавальної земної станції, яка працює разом із приймальними земними станціями в одній смузі частот, розподіленій у двох напрямках, за межами якої рівень припустимих завад не перевищуватиметься, а отже, координація стане непотрібною.

Координаційний контур — лінія, що обмежує координаційну зону.

Координаційна відстань (при визначенні необхідності координації) — це така відстань у напрямі азимуту від земної станції, що працює разом із наземними станціями в одній смузі частот, або від передавальної земної станції, що працює разом із приймальними земними станціями в одній смузі частот, розподіленій у двох напрямках, за межами якої рівень припустимих завад не буде перевищуватиметься, а отже, і координація не знадобиться.

Керований супутниковий промінь — промінь антени супутника, напрям якого можна змінювати.

Фідерна лінія — радіолінія від земної станції, розміщеної в певному пункті, до космічної станції чи навпаки, по якій передається інформація у службі космічного радіозв'язку, яка не є фіксованою супутниковою службою. Цей пункт може міститися в заданій точці або в будь-якій іншій фіксованій точці в зазначених зонах.

Ефективна зона націлювання (керованого супутникового променя) — зона на поверхні Землі, у межах якої намічається точка націлювання керованого супутникового променя. Може бути кілька окремих ефективних зон націлювання, в які може спрямовуватися один керований супутниковий промінь.

Контур ефективного підсилення антени (керованого супутникового променя) — обвідна контурів підсилення антени, утворена переміщенням точки націлювання керованого супутникового променя в межах ефективної зони націлювання.

У разі великої кількості станцій суміщуваних радіослужб (зокрема, коли суміщуються фіксована наземна та фіксована супутникова служби), що працюють у спільних смугах частот, координація частотних присвоєнь істотно утруднюється. Для таких випадків розроблено певні умови (уміщені також у Регламенті та Рекомендаціях МСЕ-Р). До них належать, наприклад, дотримання максимально припустимих значень густини потоку потужності, створеної на поверхні Землі випромінюваннями космічних станцій, а також потужності, випромінюваної наземними передавальними станціями, що гарантує виконання прийнятих критеріїв ЕМС.

Далі наводиться перелік Рекомендацій МСЕ, що стосуються цієї проблематики.

ITU-R F.66 — Дослідження максимально припустимих рівнів небажаних випромінювань;

ITU-R F.104 — Розробка меж густини потоку потужності та еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності, яким мають підпорядковуватися фідерні лінії не геостаціонарних супутникових мереж у рухомій супутниковій службі для захисту геостаціонарних супутникових мереж фіксованої супутникової служби;

ITU-R F.353-8 — Припустима потужність шуму в гіпотетичному еталонному колі для багатоканальної телефонії з частотним розділенням у фіксованій супутниковій службі;

ITU-R F.354-2 — Смуга відеочастот і припустимий рівень шуму в гіпотетичному еталонному колі фіксованої супутникової служби;

ITU-R F.353-8 — Припустима потужність шуму в гіпотетичному еталонному колі для багатоканальної телефонії з частотним розділенням у фіксованій супутниковій службі;

ITU-R F.354-2 — Смуга відеочастот і припустимий рівень шуму в гіпотетичному еталонному колі фіксованої супутникової служби;

ITU-R F.355-4 — Спільне використання одних і тих самих смуг частот системами фіксованої супутникової служби та радіорелейними системами;

ITU-R F.356-4 — Максимально припустимі і значення завад від радіорелейних систем прямої видимості в телефонному каналі системи фіксованої супутникової служби, що застосовує частотну модуляцію, у разі спільного використання одних і тих самих смуг частот обома системами;

ITU-R F.357-4 — Максимально припустимі значення завад потужності, створеної на поверхні Землі супутниками фіксованої супутникової служби, що працюють у смугах частот понад 1 ГГц разом із радіорелейними системами прямої видимості;

ITU-R F.406-8 — Максимальна еквівалентна ізотропно випромінювана потужність передавачів радіорелейних систем, що працюють у смугах частот, використовуваних спільно з фіксованою супутниковою службою;

ITU-R F.466-6 — Максимально припустимий рівень завад, утворюваних іншими мережами фіксованої супутникової служби у телефонному каналі геостаціонарної супутникової мережі цієї служби, де використовується частотна модуляція із частотним розділенням каналів;

ITU-R F.483-3 — Максимально припустимий рівень завад, створюваних іншими мережами фіксованої супутникової служби в телевізійному каналі з використанням частотної модуляції геостаціонарної супутникової мережі цієї служби;

ITU-R F.496-3 — Межі густини потоку потужності радіонавігаційних передавачів для захисту приймачів космічних станцій у фіксованій супутниковій службі в діапазоні 14 ГГц;

ITU-R F.523-4 — Максимально припустимі рівні створюваних іншими мережами фіксованої супутникової служби завад у геостаціонарній супутниковій мережі тієї самої служби, де використовується 8-розрядна ІКМ для телефонії;

ITU-R F.524-5 — Максимально припустимі рівні густини позаосьової ЕІВП земних станцій фіксованої супутникової служби, які здійснюють передавання в діапазонах 6 і 14 ГГц;

ITU-R F.558-2 — Максимально припустимі значення завад від наземних радіоліній системам фіксованої супутникової служби, що використовують 8-розрядну ІКМ для телефонії та працюють у тих самих смугах частот;

ITU-R F.615-1 — Максимально припустимі значення завад від фіксованої супутникової служби наземним радіорелейним системам, що можуть являти собою частину ЦСІС і працювати в суміщеній смузі частот, нижчих за 15 ГГц;

ITU-R F.675-3 — Розрахунок максимальної густини потоку потужності (усередненої у смузі 4 кГц) сигналу з кутовою модуляцією;

ITU-R F.691-1 — Технічні характеристики та критерії сумісності морських радіолокаційних систем, що працюють у діапазоні середніх частот із використанням методів розширеного спектра;

ITU-R F.705 — Критерії, застосовувані в разі спільного використання частот радіомовною супутниковою службою та наземною радіомовною службою у смузі частот 620...790 МГц;

ITU-R F.728-1 — Максимально припустимий рівень густини позаосьової еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності (ЕІВП) від антен із дуже малими апертурами (VSAT);

ITU-R F.731 — Еталонна крос-поляризаційна діаграма спрямованості антени земних станцій для використання з метою координації частот та оцінювання рівня завад у діапазоні частот від 2 до 30 ГГц;

ITU-R F.735-1 — Максимально припустимі рівні завад у геостаціонарній супутниковій мережі для гіпотетичного еталонного цифрового тракту (ГЕЦТ = HRDR), що входить до складу цифрової мережі з інтеграцією служб (ISDN) фіксованої супутникової служби, створюваних іншими мережами цієї служби у смугах частот, нижчих за 15 ГГц;

ITU-R F.736-3 — Оцінювання поляризаційної селекції при розрахунках рівня завад між геостаціонарними супутниковими мережами фіксованої супутникової служби;

ITU-R F.741-2 — Розрахунок відношень сигналу носійної до рівня завади (С/Ш) між мережами фіксованої супутникової служби;

ITU-R F.766 — Методика визначення впливу завад на якість і готовність наземних радіорелейних систем та систем фіксованої супутникової служби;

ITU-R F.831 — Спільне використання частоти службами в діапазоні 4...30 МГц;

ITU-R F.851-1 — Спільне використання частот радіомовною службою та фіксованою і/або рухомою службами в діапазонах ДВЧ та УВЧ;

ITU-R F.1004 — Максимальна еквівалентна ізотропно випромінювана потужність, що передається в напрямі горизонту земними станціями фіксо-

ваної супутникової служби, які використовують частоти спільно з фіксованою службою;

ITU-R F.1005 — Частотне суміщення фіксованої служби та фіксованої супутникової служби двоспрямованого використання у смугах понад 10 ГГц, розподілених нині для використання в одному напрямі;

ITU-R F.1006 — Визначення можливих завад між земними станціями фіксованої супутникової служби та станціями фіксованої служби;

ITU-R F.1009-1 — Сумісність між звуковою радіомовною службою в діапазоні близько 87...108 МГц та повітряними службами в діапазоні 108...137 МГц;

ITU-R F.1140 — Процедури випробувань для вимірювання характеристик приймача повітряної служби, використовуваних для визначення сумісності між звуковою радіомовною службою в діапазоні близько 87...108 МГц та повітряними службами в діапазоні 108...118 МГц;

ITU-R F.1141-1 — Спільне використання частотного діапазону 1...3 ГГц не геостаціонарними космічними станціями рухомої супутникової служби та станціями фіксованої служби;

ITU-R F.1142-1 — Спільне використання діапазону частот 1...3 ГГц геостаціонарними космічними станціями рухомої супутникової служби та станціями фіксованої служби;

ITU-R F.1143-1 — Специфічна для системи методологія координації не геостаціонарних космічних станцій (космос–Земля) рухомої супутникової служби та станцій фіксованої служби;

ITU-R F.1151 — Суміщення між супутниковою службою, що використовує геостаціонарні супутники фіксованої супутникової служби, та радіонавігаційною службою в діапазоні 33 ГГц;

ITU-R F.1186 — Розгляд технічних питань координації між мережами рухомої супутникової служби (РСС), що використовують багатостанційний доступ на основі кодового розділення каналів та інші методи розширення спектра в діапазоні 1...3 ГГц;

ITU-R F.1193 — Розрахунки відношень носійна/завада між земними станціями фіксованої супутникової служби та радіорелейними системами;

ITU-R F.1339 — Можливість спільного використання частот у діапазоні 50...65 ГГц пасивними бортовими датчиками супутникової служби дослідження Землі та міжсупутниковими лініями зв'язку геостаціонарних супутникових мереж;

ITU-R F.1340 — Спільне використання смуги 15,4...15,7 ГГц фідерними лініями рухомої супутникової служби та повітряною радіонавігаційною службою в напрямі Земля–космос;

ITU-R F.1341 — Спільне використання смуги 15,4...15,7 ГГц фідерними лініями рухомої супутникової служби та повітряною радіонавігаційною службою в напрямі космос–Земля та захист радіоастрономічної служби у смузі 15,35...15,4 ГГц;

ITU-R F.1373 — Використання смуг частот, розподілених радіомовній супутниковій службі (РМСС) для передач фіксованої супутникової служби (ФСС);

ITU-R F.1388 — Порогові рівні для визначення необхідності координації між космічними станціями в радіомовній супутниковій (звуковій) службі та визначеними системами в сухопутній рухомій службі у смузі 1452...1492 МГц.

Зміст Рекомендацій, перелічених у підрозд. 6.1 і 6.2, охоплює значний обсяг технічної інформації, призначеної для управління використанням РЧР.

6.4. Порядок розв'язування завдань із забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів

Вихідні дані для обчислень поділено на п'ять груп (рис. 6.5):

- дані, що визначають ЕМО, в якій може працювати радіозасіб із приєвненою частотою радіоканалу (файл 1);
- дані про радіозасоби, на які вже видано ліцензії (файл 2);
- дані про технічні параметри (характеристики) ЕМС засобів, що перебувають у експлуатації (файл 3);
- дані про наявні рекомендації, стандарти, норми й технічні вимоги, що містяться в міжнародній і національній НТД (файл 4);
- топографічні дані, що включають у себе профіль місцевості, рослинний покрив та інші чинники, необхідні для розрахунку умов поширювання радіохвиль між передавачем та приймачем (файл 5).

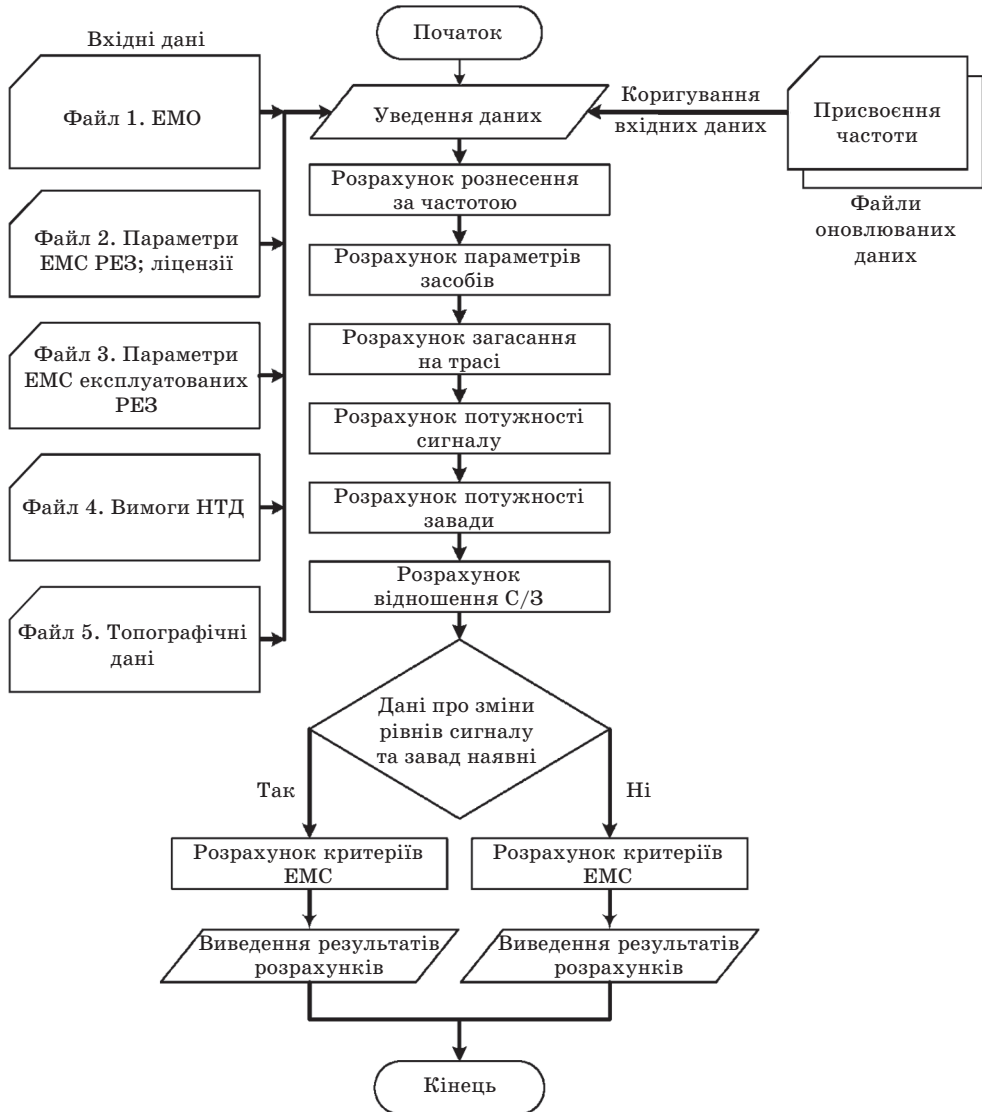


Рис. 6.5. Початкові дані для розв'язування задач щодо ЕМС РЕЗ

Вихідні дані використовуються для розрахунків за допомогою заздалегідь підготовлених моделей, із переліку яких вибираються необхідні (залежно від розв'язуваної задачі). До таких моделей, зокрема, належать:

— моделі можливих джерел завад (моделюються параметри ЕМС радіо-передавачів, радіоприймачів та антен);

— моделі призначення частот, які базуються на врахуванні вимог НТД організаційного характеру, оскільки розрахунки можливого забезпечення ЕМС ґрунтуються на існуючих і майбутніх частотних призначеннях і присвоєннях;

— моделі загасання радіохвиль при поширенні на реальній трасі; оскільки значення загасання залежать від частоти, то використовується серія моделей;

— моделі територіального розміщення засобів і визначення площ обслуговування радіозасобами з урахуванням топографічних даних;

— моделі розрахунків потужностей прийманого сигналу та завади (і відношення сигнал/завада); за наявності даних про можливі зміни відношення сигнал/завада розрахунок критеріїв ЕМС виконується залежно від наявності або відсутності таких змін.

Завдяки накопиченню даних моделі вдосконалюються. Наприклад, уточнюються моделі обчислення площі, справді обслуговуваної радіомовним передавачем з урахуванням відповідних захисних відношень для меж зони обслуговування. Вхідні дані з часом оновлюються, для чого використовуються відповідні файли.

Уточнюються й довідкові дані (перелік присвоєних частот, завади від засобів власної служби, завади від засобів служб, що працюють у сусідніх смугах частот, завади на гармоніках, можливі частоти інтермодуляційних завад тощо).

Для планування використання РЧР сукупність даних має включати в себе демографічні відомості стосовно території, на якій передбачається використовувати нові частотні присвоєння та призначення.

Оцінювання ЕМС РЕЗ має здійснюватися на всіх етапах їхнього життєвого циклу (експлуатація, випробування, розробка, проектування, перспективне планування).

Так, на *стадіях планування та проектування* формується тип РЕЗ, їхній вигляд та основні характеристики. Важливо, щоб нові РЕЗ відповідали сучасним вимогам норм ЕМС. На стадії планування слід проводити попереднє оцінювання ЕМС. При цьому мають бути визначено частотні діапазони планованих до розробки РЕЗ, виявлено потенційно несумісні РЕЗ і сформульовано вимоги щодо забезпечення ЕМС. Якщо вимоги ЕМС на цих стадіях не враховано, то на наступних стадіях виникнуть додаткові труднощі із забезпеченням беззавадної роботи РЕЗ.

На *стадії розробки* (проектування) засобів і комплексів має здійснюватися всебічне оцінювання ЕМС розроблюваних засобів із усіма існуючими РЕЗ, які передбачається експлуатувати разом із новорозроблюваною апаратурою. Під час розробки РЕЗ вживаються технічні заходи із забезпечення ЕМС, що, у свою чергу, зумовлює необхідність оцінювання цих заходів.

Якщо передбачається робота РЕЗ у складі комплексів, то оцінювання ЕМС має виконуватися з урахуванням сукупності засобів усього комплексу, а також умов їхнього функціонування.

На *стадії випробувань* оцінювання ЕМС здійснюється переважно експериментально. Проте й теоретичні (розрахункові) методи можуть бути корисними при плануванні експериментів (для правильного вибору складу РЕЗ, що підлягатимуть випробуванням, а також режимів роботи). Під час проведення натурних випробувань розрахункові методи розширюють і доповнюють межі експериментальних оцінок, сприяючи тим самим скороченню термінів і вартості випробувань.

Етап експлуатації (використання РЕЗ за призначенням) є основним етапом, на якому найбільш гостро відчувається проблема ЕМС РЕЗ. Саме на цьому етапі постають реальні завдання щодо забезпечення безаварійної роботи засобів (наприклад, при розміщенні їх на об'єктах, на місцевості, у повітрі та космічному просторі, при переміщенні та зміні умов експлуатації тощо).

Планування застосування та використання РЕЗ з урахуванням вимог ЕМС, швидке вжиття заходів для зниження (уникнення) взаємних завад потребують попереднього розрахункового оцінювання ЕМС, наявності відповідних розрахункових методик, інструкцій і посібників із забезпечення ЕМС РЕЗ.

Отже, розрахункові методи оцінювання ЕМС застосовуються під час:

- прогнозування електромагнітної обстановки;
- перспективного планування та раціонального використання РЧР;
- підготовки матеріалів для висновків (рішень) щодо права на користування певними ділянками частот, на виділення смуг частот для новостворених (придбаних) РЕЗ;

- призначення частот для РЕЗ, що експлуатуються;
- визначення ступеня забезпечення ЕМС РЕЗ;
- розробки вимог до параметрів ЕМС і нормативно-технічних документів із ЕМС;

- оцінювання ступеня впливу ненавмисних завад на якість функціонування РЕЗ і комплексів РЕЗ;

- оцінювання ефективності заходів із забезпечення ЕМС;

- розроблення норм частотно-територіального рознесення РЕЗ тощо.

За ступенем складності та характером зв'язків між РЕЗ останні можна поділити на три види.

До *першого виду* відносять найпростіше поєднання (вироджене угруповання) із двох РЕЗ. Це парна (дуальна) ситуація, в якій оцінюється вплив випромінювача одного РЕЗ (однієї ненавмисної завади) на один рецептор (приймач) іншого РЕЗ. Згідно з викладеним раніше джерелом завад може бути не лише радіопередавач РЕЗ. Розв'язування завдання ЕМС зазвичай просте, добре розроблене і використовуване у складніших ситуаціях.

До *другого виду* належать угруповання РЕЗ. Вони складаються з функціонально пов'язаних між собою РЕЗ і забезпечують розв'язування одного чи кількох функціональних завдань. Такі угруповання зазвичай утворюються на окремих об'єктах (корабель, літак, бойова машина управління тощо) і часто називаються радіоелектронними комплексами. Небезпека виникнення в них ненавмисних завад набагато вища, ніж у парній ситуації, через близьке розміщення РЕЗ один до одного. У такому разі постає завдання комплексного оцінювання ЕМС великої кількості засобів, які попарно взаємодіють. Іноді дія кількох завад зводиться до дії однієї (еквівалентної).

До *третього виду* належать угруповання РЕЗ, що складаються із самостійних комплексів (об'єктів). Вони займають у просторі більш або менш

обмежену область і тому називаються локальними угрупованнями (морський порт, аеродром, радіоцентр тощо). Тут окрім завдання внутрішньосистемної ЕМС об'єкта має розв'язуватися й завдання забезпечення міжсистемного ЕМС угруповання, причому ЕМО значною мірою буде ймовірнісною (випадковою).

6.5. Оцінювання електромагнітної сумісності

Рішення щодо забезпечення ЕМС має ухвалюватися з огляду на оцінки збереження потрібної якості функціонування кожного засобу розглянутого угруповання. Тут щодо парного чи групового варіанта завдання ускладнюється та базується на результатах розрахунків за попередніми варіантами. Показник якості функціонування РЕЗ визначається для конкретного детермінованого (або ймовірносного) стану заводної обстановки з використанням критеріїв ЕМС.

Тому в найзагальнішому вигляді реалізується чотирьохетапна схема оцінювання ЕМС (рис. 6.6). При цьому відбувається оцінювання ЕМО, якості функціонування окремих РЕЗ і сукупності РЕЗ у разі комплексного оцінювання, а також безпосереднє оцінювання забезпечення ЕМС. Показник якості функціонування окремих РЕЗ визначається для конкретної заводної обстановки, тобто при конкретному відношенні сигнал/завада з використанням критеріїв ЕМС.

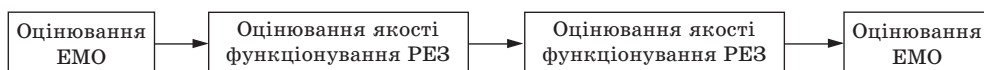


Рис. 6.6. Чотирьохетапна схема оцінювання ЕМС

Усі завдання ЕМС розпочинають з оцінювання заводної обстановки виявленням потенційно несумісних РЕЗ, виходячи з аналізу (згідно з тривимірним об'ємом РЧР — див. далі підрозд. 6.7):

- частотних збігів шляхом виявлення каналів проникнення неавтормисних завад на вхід приймача $i(j)$ -го РЕЗ від передавача $j(i)$ -го РЕЗ;
- можливого збігу за часом роботи приймача $i(j)$ -го РЕЗ та передавача $j(i)$ -го РЕЗ;
- можливих збігів орієнтації діаграм спрямованості антен $G_A(\varphi, \theta)$ i -го та j -го РЕЗ.

Ураховуючи ці стани (із використанням основного рівняння для обчислення радіоліній — див. підрозд. 2.2), обчислюють потужність (або густину потоку потужності) завад для кожного приймача від кожного передавача при конкретному співвідношенні частот передавання і приймання та за відомих умов розміщення РЕЗ.

Отже, розрахункове завдання щодо оцінювання забезпечення ЕМС можна розв'язувати трьома методами: *парного оцінювання* (приймач–завадний передавач), *групового оцінювання* (приймач–кілька джерел завад) та *комплексного оцінювання*.

Перший метод найпростіший, добре розроблений і найчастіше використовується. Другий метод часто зводиться до обчислення кількох парних оцінок, або до заміни кількох неавтормисних завад однією еквівалентною за впливом завадою. Третій метод передбачає врахування впливу неавтормисних завад, зумовлених функціонуванням об'єкта (угруповання) РЕЗ, і має брати до уваги функціональні взаємозв'язки РЕЗ між собою. Щодо парного

та групового цей метод являє собою вищу ієрархічну ланку й базується на використанні результатів обчислень за допомогою нижчих ланок.

Потенційно несумісні РЕЗ виявляються за допомогою частотного аналізу кожної пари РЕЗ із метою визначення джерел і рецепторів ненавмисних завад, а також каналів їх проникнення.

У разі детермінованого оцінювання якості функціонування i -го та j -го РЕЗ порівнюють потужність завади в точці приймання із припустимим (за критерієм якості) її значенням. За результатами порівняння доходять висновку про прийнятність (або неприйнятність) якості функціонування для кожного РЕЗ. Якщо хоча б для однієї пари РЕЗ зроблено висновок про неприйнятність якості функціонування, то ЕМС вважається не забезпеченою.

Імовірнісне оцінювання завадної обстановки здійснюється для умов із випадковими чинниками виникнення завад. При цьому крім можливих значень потужності ненавмисної завади обчислюються імовірність частотного, просторового та часового збігу прийманого сигналу та завади. При цьому розрахунковим значенням інтенсивності завади та сигналу ставиться у відповідність імовірність (або щільність імовірності) їх виникнення, а сприйнятливність РЕЗ до завад оцінюється з використанням статистичних моделей завади та сигналу.

Якість функціонування в разі випадкової завадної обстановки можна оцінити усередненою (за всіма станами завадної обстановки) імовірністю прийнятності або неприйнятності якості функціонування.

Висновку про неприйнятність якості функціонування доходять на основі порівняння отриманої (у результаті обчислень) і припустимої ймовірності прийнятної якості функціонування РЕЗ за даної випадкової завадної обстановки.

Велике розмаїття видів РЕЗ пов'язане з різним призначенням і, відповідно, із різними функціональними завданнями, що їх виконують РЕЗ. Так, радіостанції забезпечують передавання та приймання повідомлень, радіолокаційні станції слугують для виявлення цілей (об'єктів у просторі) і вимірювання їхніх координат, а навігаційне обладнання дозволяє визначити своє місцезнаходження відносно зовнішніх об'єктів і т. ін. Проте важливою особливістю викладеного загального підходу до оцінювання ЕМС є його універсальність щодо РЕЗ різного виду, а також об'єктів і локальних угруповань різного призначення й належності.

Критерії якості функціонування різних РЕЗ можуть різнитися. Так, з огляду на відмінність виконуваних функцій системи радіозв'язку та радіолокаційної системи розрізнятимуться й критерії якості, тоді як методологія оцінювання залишатиметься спільною.

6.6. Розрахунок норм частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів

Розрахункове завдання з визначення норм частотно-територіального рознесення розв'язується стосовно пари РЕЗ (приймач–передавач), які можна розглядати або окремо (дуельна ситуація), або при розміщенні РЕЗ в угрупованні.

Розрахунок норм частотно-територіального рознесення здійснюється в такому порядку: оцінювання завадної обстановки, оцінювання забезпечення ЕМС РЕЗ, обчислення кількісних значень величин за частотним (і/або територіальним) рознесенням РЕЗ.

Норми частотно-територіального рознесення розраховують
— або визначенням потрібної різниці між робочими частотами приймача i -го РЕЗ і передавачем j -го РЕЗ (який створює ненавмисні завади при заданих відстанях, на яких забезпечується ЕМС між ними);

— або визначенням мінімальних відстаней між РЕЗ, при яких для заданих частот приймача та передавача i -го РЕЗ і заводного передавача j -го РЕЗ між ними забезпечується ЕМС.

Підіб'ємо деякі підсумки. В основу методик аналізу ЕМС РЕЗ, реалізованих на практиці, покладено математичний опис трьох основних структурних складових, які визначають проблему:

— джерела електромагнітних випромінювань, що може утворювати завади навколишнім радіоприймальним пристроям;

— радіоприймального пристрою, який зазнає впливу електромагнітних випромінювань;

— шляху, яким завада від джерела надходить до приймача (або утворюється у приймачі). Невід'ємною частиною методики оцінювання ЕМС є певний критерій ЕМС.

В абсолютній більшості ситуацій, що виникають при аналізі ЕМС РЕЗ, джерелом заводних випромінювань є радіопередавач. При аналізі інтермодуляційних завод (незалежно від того, де вони утворюються — у передавачі чи у приймачі) джерелом завади є *група передавачів*. Програмне забезпечення, призначене для управління використанням РЧР, має поставляти інформацію, наведену на рис. 6.7.

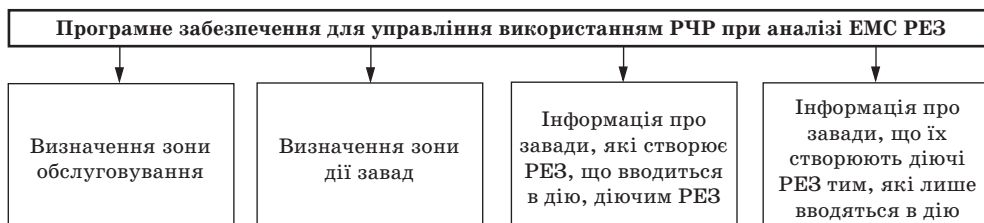


Рис. 6.7. Програмне забезпечення для управління використанням РЧР

Розв'язування завдань ЕМС базується передусім на оцінюванні забезпечення ЕМС РЕЗ за прийнятими критеріями та розробці норм частотно-територіального рознесення РЕЗ.

Останнім часом надходять пропозиції з методики оцінювання ЕМС РЕЗ на основі адаптивних норм частотно-територіального рознесення.

Для досягнення показників надійності, що виключають вплив ненавмисних завод, норми частотно-територіального рознесення розраховуються стосовно найгірших (із позиції ЕМС) умов функціонування РЕЗ. Для цих умов характерні:

— взаємна орієнтація діаграм спрямованості антен передавача та приймача головними пелюстками одна на одну;

— мінімально можливі рівні корисних сигналів на вході приймального пристрою;

— максимально можливі рівні ефективно випромінюваної потужності передавальних пристроїв (зокрема й тих, що створюють ненавмисні завади) і т. ін.

У багатьох випадках прийняті (при розрахунках норм рознесення) умови функціонування РЕЗ відрізняються від реальних. Тому методи оцінювання ЕМС, що ґрунтуються на використанні гарантованих норм частотно-територіального рознесення, не забезпечують високої вірогідності результатів практичного оцінювання ЕМС РЕЗ.

Існує метод оцінювання ЕМС, що дає змогу підвищити вірогідність отримуваних результатів завдяки адаптації норм частотно-територіального рознесення до реальних умов функціонування РЕЗ. Для цього до складу норм рознесення пропонується включити додаткові дані, що характеризують перевищення потужності ненавмисної завади на вході приймального пристрою над припустимим за умовами ЕМС рівнем. Показано, що використання «адаптивних» норм дозволило знизити вимоги до необхідного рознесення розглянутих радіозасобів на 10–30%.

6.7. Міра використання РЧР

Будь-яка радіосистема працює у визначеній смузі частот, у даному просторі та в певний час. На частотах, достатньо близьких до робочої частоти, інші системи не здатні працювати, не спричинюючи чи не зазнаючи при цьому завад. Проте радіус дії радіосистеми не безмежний: за межами певної відстані інша радіосистема може працювати на тій самій частоті, не спричинюючи чи не взазнаючи завад. Окрім того, деякі радіосистеми не весь час перебувають у ввімкненому стані. Оскільки в неробочому стані вони не спричинюють і не приймають завад, то на цьому відрізку часу спектр може використовуватися іншою системою.

Отже, використання спектра можна розглядати як деякий об'єм, що визначається як добуток ширини смуги частот, геометричного (географічного) простору та часу, заборонених для інших потенційних користувачів.

Ось як цю пропозицію аргументовано в Рекомендації ІТУ-Р SM. 1046 [140]:

«МСЕ рекомендує, щоб:

— за основну концепцію використання спектра було взято об'єднаний параметр «ширина смуги—простір—час» як критерій оцінювання використання спектра — «коефіцієнт використання спектра»;

— за основну концепцію ефективності використання спектра (SUE), або, коротко, спектральної ефективності, було взято відношення кількості інформації, переданої на певну відстань (або кількість отриманих повідомлень), до коефіцієнта використання спектра, як це розглянуто в Додаток 1; деякі приклади використання даної концепції наведено в Додаток 2 (тут не наводяться);

— основний принцип відносної спектральної ефективності, наведений у Доповненні 1, використовувався для порівняння спектральної ефективності між системами радіозв'язку;

— будь-яке порівняння спектральної ефективності здійснювалося лише між подібними радіосистемами, які представляють ідентичні служби радіозв'язку;

— при визначенні спектральної ефективності враховувався взаємовплив різних радіосистем і радіомереж у даній електромагнітній обстановці».

Додаток 1. Загальні критерії оцінювання коефіцієнта використання спектра у спектральній ефективності

1. Коефіцієнт використання спектра

Ефективне використання спектра досягається (поряд з іншими заходами) розв'язкою, отримуваною за допомогою спрямованості антени, географічного рознесення, спільного використання частот, ортогональної поляризації, часового суміщення або розділення, причому всі ці чинники впливають на визначення використання спектра. Отже, критерій використання спектра — коефіцієнт U використання спектра визначається як добуток ширини смуги частот, геометричного (географічного) простору та часу (причому ця смуга, простір і час виключені для використання іншими користувачами):

$$U = (B \times S \times T), \quad (6.17)$$

де B — ширина смуги частот, яку використовує РЕЗ під час роботи, МГц; S — геометричний простір (зазвичай площа), корисний або заборонений; T — час, протягом якого працює радіосистема, с.

Розглядуваний геометричний простір може бути також об'ємом (наприклад, геостаціонарна орбіта) або кутовим сектором відносно певної точки. Розмір виключеного (забороненого) простору залежить від спектральної густини потужності в ньому.

Для багатьох застосувань фактор часу може ігноруватися, якщо служба працює постійно. Проте для деяких служб, наприклад радіомовлення або одноканальної рухомої служби, фактор часу дуже важливий для спільного використання частот, тому всі три фактори слід розглядати одночасно з подальшою оптимізацією.

Критерій використання спектра можна обчислити, перемноживши ширину смуги, що обмежує випромінювання (наприклад, ширину займаної смуги), і створеної їй зони завад; він може також урахувати справжню форму спектральної густини потужності випромінювання та характеристики випромінювання антени.

Смуга частот B визначається як ширина смуги частот, яка не може бути використана іншим РЕЗ під час роботи даного РЕЗ. Геометричний простір S визначається тією областю простору, у межах якої смуга частот B недоступна для інших РЕЗ під час роботи розглядуваного засобу.

Використання спектра визначається як спектральний простір, де наявне обладнання не припускає (забороняє) розміщення нової системи.

Спектральний простір використовується як передавачами, так і приймачами. Передавачі використовують спектральний простір, перешкоджаючи його використанню розміщеними поблизу приймачами (не призначеними для роботи з ними), які прийматимуть завади від передавача. Цей простір називається *простором, що його заборонив передавач*, або, стисло, *простором передавача*.

Приймачі використовують спектр, перешкоджаючи використанню найближчого простору додатковими передавачами (за припущення, що приймач має право на захист від завад); передавач, який працює в цьому просторі, спричинюватиме завади передбачуваній роботі приймача. Цей простір називається *простором, що його заборонив приймач*, або, коротше, *простором приймача*. Місцезнаходження приймача, так само як і інші його характеристики, вважають відомими».

Наголосимо ще раз на тому, що передавачі не забороняють використання простору іншими передавачами. Наявність одного передавача жодним чином не перешкоджає іншому здійснювати передавання поблизу. Аналогічно, приймачі не забороняють використовувати спектральний простір іншими приймачами. У деяких моделях використання спектра розрахунок його використання приймачем і передавачем здійснюється роздільно, а в інших — спільно.

Можна уявити, що кожний передавач оточено «міхуром» (об'ємом) за частотою, простором і часом, де близькі частоти (смуга частот), географічні території (простір) і час *виключаються з використання сторонніми приймачами*. «Міхур» може мати приблизно сферичну форму (у вільному просторі) або високу спрямованість (через застосування приймальних або передавальних антен із високим коефіцієнтом підсилення).

Аналогічно, кожний приймач оточено «міхуром», *де не можуть розміщуватися сторонні передавачі*. Ці «міхури» у сумі утворюють спектральний простір, використовуваний системою. Решта об'єму у вимірі смуга частот–простір–час залишається невикористаним і доступний для використання передавачами та приймачами.

Якими мають бути характеристики передавача, який не повинен допускатися до «забороненого» простору приймача?

Розгляд «характеристик передавача» у цьому контексті означає урахування всіх характеристик передавальної системи в цілому, зокрема частоти, смуги частот, потужності, діаграми спрямованості, кута наведення антени (якщо він зазначається), модуляції, тривалості робочого циклу тощо. Частина цих характеристик входить у співвідношення (6.17) як опис співмножника B , що стосується ширини смуги частот, ще одна частина — як опис просторового співмножника S , а решта — як опис часового співмножника T .

Геометричний простір. Множник U містить усі елементи, пов'язані з геометричним простором. Він включає в себе фізичне розміщення компонентів системи, а також кути наведення та діаграми спрямованості, що стосуються передавальних і приймальних антен.

Розглядуваний геометричний простір може являти собою об'єм у разі супутникових систем, де головний інтерес становить об'єм конічної форми, опромінюваний глобальним або вузьким променем.

Розглядуваний простір може бути *площиною* в разі багатьох наземних застосувань, таких як сухопутні системи мобільного зв'язку та деякі системи фіксованого зв'язку.

Розглядуваний простір може також міститися в *секторі кутів* навколо точки (як у випадку низки гостроспрямованих антен).

«Поляризаційна вибірність» антени також належить до геометричної складової об'єму РЧР.

На коефіцієнт U геометричного простору будуть, зокрема, впливати моделі поширення радіохвиль, використовувані для розрахунку втрат при проходженні радіохвилі через геометричний простір. У складніших моделях можуть знадобитися бази даних про рельєф або клімат — як частина моделювання поширення радіохвиль.

Частотна складова обсягу РЧР. Цей множник охоплює вплив смугових фільтрів у трактах радіоприймача (особливо — у тракті основної проміжної частоти), виду модуляції передавача та займаної смуги частот випроміню-

вання, ступеня подавлення за смугою пропускання, обробки та ортогональної модуляції сигналів, припустимого відношення сигнал/завада у пункті приймання і т. ін. Отже, *у співмножник В необхідно включати всі фактори, що впливають на частотно залежну частину характеристик радіосистеми.*

Часовий співмножник. Час стосується всіх причетних до робочого циклу факторів і є особливо важливим для систем, подібних до радіолокаційних. При цьому може бути, що обертальну антену радіолокатора найпростіше розглядати як антену з переривчастою часовою характеристикою, хоча обертання антени та її вузький промінь явно стосуються геометричного простору.

Коефіцієнт заповнення робочого циклу імпульсної модуляції радіолокатора або сигналу системи множинного (багатостанційного) доступу з часовим розділенням каналів може розглядатися як часовий фактор або бути включений до частотних множників у вигляді частини припустимого відношення сигнал/завада.

Зайнятість спектра. Зайнятість спектра тісно пов'язана з часовим фактором. Дані про зайнятість спектра надають інформацію про справжній рівень використання окремих частотних смуг (наприклад, смуг частот сухопутної рухомої служби).

У Звіті 835-2 МККР одне радіоповідомлення визначають як один повний обмін інформацією між базовою станцією та пов'язаними з нею рухомими станціями. Таким чином, воно складається із серії передач базової та рухомих станцій, розділених паузами в передачах.

Оскільки протягом повної тривалості такого повідомлення канал зазвичай недоступний іншому користувачеві, то зайнятість, що характеризує рівень використання каналу, являє собою зайнятість повідомленнями. Вона визначається часткою (у відсотках) часу, протягом якого канал зайнятий такими повідомленнями в заданий період проведення контролю.

Зайнятість повідомленнями у певному каналі являє собою суму зайнятості передачами базової станції, передачами рухомої станції та паузами в передачах. Для диференціації пауз між передачами та пауз між повідомленнями використовується контрольний інтервал часу. У Звіті 835-2 МККР містяться документи щодо методів вимірювання таких даних.

6.8. Методи ефективного використання частотної (спектральної) складової обсягу РЧР

6.8.1. Теоретичні передумови ефективного використання частотного спектра в телекомунікаційних системах

На перший погляд здається, що для забезпечення зв'язку кількох абонентів один із одним на певній площі (географічній зоні обслуговування) потрібно виділити кожному з них лише смугу частот ($\Delta F_{\text{сигн}}$) передавання (на носійній частоті f_1) і смугу частот приймання (на носійній частоті f_2) із шириною, що дорівнює смузі частот радіосигналу $\Delta F_{\text{сигн}}$. Якщо приймач і передавач мають працювати одночасно (дуплексний радіоканал), то для уникнення блокування приймання власним передавачем частоти f_1 і f_2 мають різнитися (бути «рознесеними», звідси термін — «дуплексне рознесення») на величину, значення якої визначається багатосигнальною вибірністю приймача (навіть якщо приймач і передавач працюють на різні антени). Ця пара

частот для радіозв'язку еквівалентна провідній лінії, за допомогою якої утворюється канал зв'язку. Тому часто замість терміна «радіоканал, утворений однією частотою або парою частот приймання і передавання», вживається скорочений термін «канал».

Отже, виділена ділянка частот для РЕЗ із частотним розділенням каналів (FDMA) найчастіше, поділяється на дві частини:

- смуга частот на передавання; вона є діапазоном частот приймача кореспондента;
- смуга частот на приймання, яка не збігається з попередньою; вона є діапазоном частот передавача кореспондента (рис. 6.8).

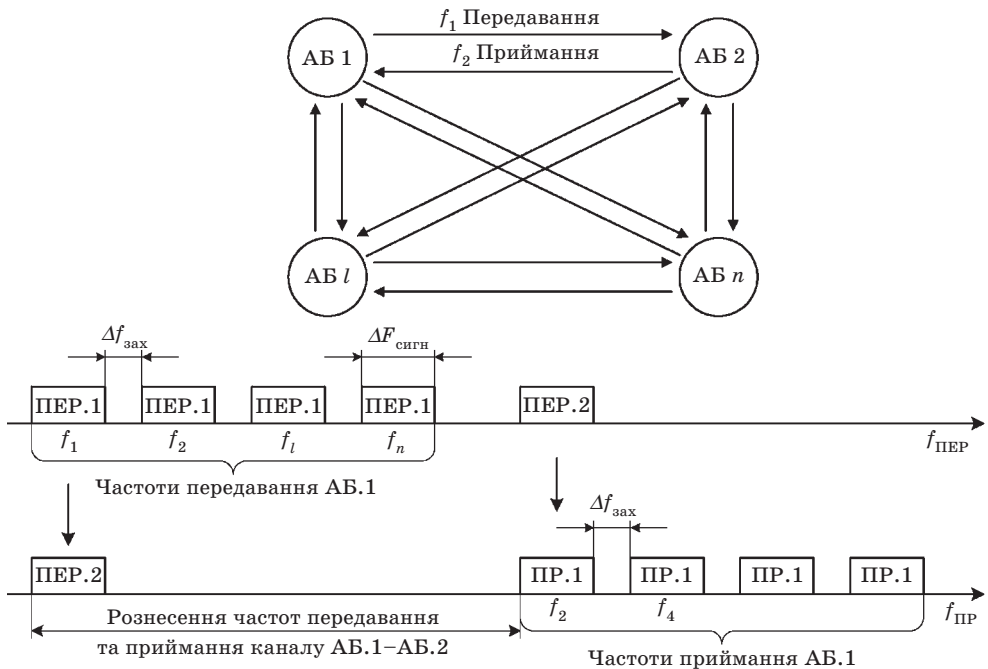


Рис. 6.8. До розміщення закріплених частот передавання та приймання в системі зв'язку «кожний із кожним»

Необхідність рознесення частот передавання та приймання радіостанції зумовлена близьким розміщенням передавача та приймача, їх підімкненням до однієї антени або необхідністю їх одночасної роботи в разі дуплексного радіозв'язку.

Кожна із зазначених частин поділяється на розрахункову кількість каналів (частот зв'язку), кожний із яких займає спектр шириною $\Delta F_{\text{сигн}}$. Значення $\Delta F_{\text{сигн}}$ визначається параметрами модулюючого сигналу. Якщо потрібен зв'язок абонентів «кожного з кожним», то загальна кількість $N_{\text{к}}$ необхідних каналів (пар частот) за такого (частотного) розділення каналів для кількості $N_{\text{аб}}$ абонентів становитиме

$$N_{\text{к}} = N_{\text{аб}} (N_{\text{аб}} - 1). \quad (6.18)$$

У разі великого числа $N_{\text{аб}}$ (тобто при $N_{\text{аб}} \gg 1$) необхідну кількість пар можна взяти згідно з такою наближеною рівністю: $N_{\text{к}} \approx N_{\text{аб}}^2$.

У разі частотного розділення каналів між каналами зазвичай передбачається захисний інтервал $\Delta f_{\text{зах}}$. Значення $\Delta f_{\text{зах}}$ залежить від вибірності

приймача щодо сусіднього каналу $D_{c,k}$, абсолютної нестабільності частоти передавача та приймача, ефекту Доплера і т. ін.

Потрібна кількість пар частот пов'язана з шириною діапазону виділених частот $f_{\min} \dots f_{\max}$ співвідношенням

$$N_k \approx (f_{\max} - f_{\min}) / (\Delta F_{\text{сигн}} + \Delta f_{\text{зах}}). \quad (6.19)$$

Отже, у разі жорсткого закріплення частот за абонентами в інтервалі $f_{\min} \dots f_{\max}$ можлива одночасна робота N_{ab} абонентів, причому

$$N_{ab} \approx [(f_{\max} - f_{\min}) / (\Delta F_{\text{сигн}} + \Delta f_{\text{зах}})]^{0.5}. \quad (6.20)$$

Звідси випливає, що збільшення N_{ab} (задоволення зростаючого попиту на частотний ресурс) можливе лише за рахунок розширення діапазону використовуваних частот $f_{\max} - f_{\min}$, максимально можливого звуження смуги частот $\Delta F_{\text{сигн}}$, займаної радіосигналом (якщо дозволяє швидкість передавання інформації) і зменшення захисного інтервалу $\Delta f_{\text{зах}}$.

Викладене аргументує виправданість суворих заходів щодо дотримання норм на ширину смуги випромінюваного спектра для кожного виду випромінювань. Саме тому в Регламенті радіозв'язку наведено розрахункові співвідношення для необхідних смуг частот різних видів радіовипромінювань. Завжди зі схваленням зустрічаються технічні рішення, що сприяють звуженню смуги $\Delta F_{\text{сигн}}$.

У деяких системах звуженню спектра сприяє застосування методів цифрової обробки сигналів (низькошвидкісні цифрові кодеки, багатопозиційні радіосигнали із квадратурною амплітудно-фазовою маніпуляцією). Як відомо з теорії електрозв'язку, чим нижча швидкість передавання (вужча смуга частот модулюючого сигналу), тим менша смуга частот $\Delta F_{\text{сигн}}$.

Цифрова обробка сигналів достатньо ефективна для підвищення надійності та пропускної здатності цифрових систем. Застосовуючи сучасні методи стиснення даних (наприклад, MPEG-2), можна в одному супутниковому ретрансляторі вмістити вісім ТВ каналів за рахунок стиснення (усунення надлишковості) передаваного цифрового повідомлення.

Для задоволення вимог високоякісного звукового радіомовлення на рухомі, портативні та стаціонарні приймачі розроблено метод ортогонального частотного ущільнення (ОЧУ) [3]. ОЧУ є методом цифрового радіозв'язку, де кожна з ряду носійних, рівномірно рознесених на частотній осі, модулюється частиною загального потоку цифрових даних. Одна з переваг цієї системи полягає в тому, що кожна носійна частота ортогональна до всіх інших носійних і, отже, міжсимвольної завади між ними немає. Іншою перевагою ОЧУ є дуже висока компактність його загального спектра.

Донедавна системи ОЧУ коштували дорого через необхідність генерувати багато носійних частот. Проте нині за допомогою спеціалізованих мікросхем цифрової обробки сигналу можна виконати генерування носійної та фазову модуляцію в одному процесі. Системи ОЧУ запропоновано низкою прихильників цифрового звукового радіомовлення.

Щоб зменшити інтервал $\Delta f_{\text{зах}}$, у радіосистемах намагаються максимально можливо зменшувати абсолютну нестабільність частоти радіовипромінювань. Цього досягають поступовим (у процесі реалізації дедалі вищої стабільності частоти радіопередавачів і радіоприймачів) підвищенням жорсткості норм на припустимі відхилення частоти радіозасобів.

Зауважимо, що реалізація техніко-економічного ефекту від застосування більш «ущільненої» сітки частот має супроводжуватися значним поліпшенням вибірності радіоприймачів і зниженням рівня шумових та позасмугових випромінювань радіопередавачів.

Одним із організаційних заходів щодо дотримання норм на ширину смуги спектра та норм припустимих відхилень частоти є радіоконтроль (із подальшим вжиттям заходів у разі недотримання встановлених норм аж до економічних санкцій).

Співвідношення (6.19) і (6.20) справджуються для пар частот радіозв'язку, необхідних для двостороннього зв'язку. Звідси впливає один із природних шляхів ефективного використання спектра: у системах, де не доводиться здійснювати двостороннього передавання та призначених для одностороннього передавання інформації, потреба у спектрі скорочується вдвічі.

Такі системи застосовуються з метою моніторингу, телеуправління (якщо немає потреби у зворотному каналі телесигналізації), пошуку абонентів (пейджинг) тощо.

Перевіреною історією розвитку радіо є освоєння дедалі високочастотніших діапазонів радіочастот.

Як уже зазначалося, смуга частот f (у герцах) кожного діапазону така: $0,3 \cdot 10^N < f \leq 3 \cdot 10^N$. Отже, для N -го діапазону $f_{\text{макс}} - f_{\text{мін}} = 2,7 \cdot 10^N$. Зі зростанням номера N діапазону, тобто з переходом на дедалі вищі частоти «частотна місткість» $f_{\text{макс}} - f_{\text{мін}}$ зростає за степеневим законом 10^N . За цим самим законом зростає й кількість абонентів згідно з (6.20). Величезний ($N > 11$) ресурс, який «простоє», являє собою великий резерв для підвищення ефективності використання РЧР.

6.8.2. Використання надвисокочастотних діапазонів

Останніми роками дуже відчутно підвишилась потреба в частотних при-своєннях через величезне зростання потреб користувачів у послугах зв'язку. Стрімке зростання зазначених потреб призвело до такого перевантаження в нижчих діапазонах частот, що нині довелося проводити інтенсивні дослідження використання верхніх частотних діапазонів.

З огляду на це для стимулювання освоєння верхніх діапазонів частот було переглянуто Таблицю розподілу частот МСЕ, особливо частот понад 20 ГГц.

Основні переваги використання верхніх діапазонів частот, що забезпечують надзвичайні можливості для розподілу та присвоєння частот, безперечно, полягають у великому розмірі спектра, широкій доступній смузі частот та менших за розмірами антенних пристроях.

Головний недолік гігагерцових діапазонів — це додатковий вплив атмосферних і несприятливих погодних явищ, що призводять до високих рівнів послаблення та обмежують (або навіть виключають) використання багатьох систем радіозв'язку. Зі зростанням частоти ці ефекти посилюються. Проте ефекти послаблення можна використовувати в інтересах забезпечення високого ступеня захисту систем від завад унаслідок значно вищих втрат у вільному просторі на цих верхніх частотах.

6.8.2.1. Особливості використання спектра понад 20 ГГц

Загальне емпіричне правило полягає в тому, що зі зростанням робочої частоти виникає послаблення рівнів сигналів при поширенні радіохвиль. Однією з головних особливостей спектра понад 20 ГГц є частотна залежність послаблення в атмосфері (рис. 6.9).

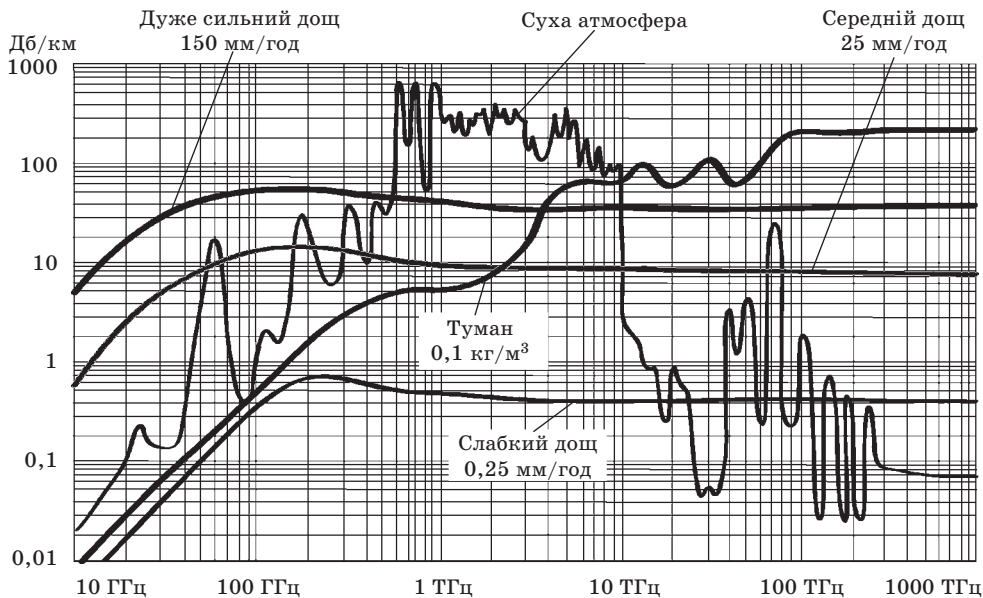


Рис. 6.9. Графіки частотної залежності послаблення енергії радіохвиль в атмосфері

Послаблення в атмосфері на частотах понад 20 ГГц призводить до специфічних труднощів (обмежена дальність і вплив мінливих властивостей середовища), проте ступінь послаблення в атмосфері потенційно перетворює його на корисний засіб управління використанням спектра та планування у верхніх діапазонах частот.

Двома основними причинами послаблення в атмосфері є послаблення в газах та послаблення в гідрометеорах, особливо в опадах у вигляді дощу — рис. 6.9 (для приземних трас радіозв'язку центральної Європи).

За відсутності вірогідних даних про інтенсивність опадів на тій чи іншій території можна скористатися грубими оцінками, отриманими з даних багаторічної статистики (Рекомендація ІТУ-R P.837-4 [141]). Згідно з цією Рекомендацією всю поверхню Землі залежно від інтенсивності опадів поділено на 15 кліматичних зон, яким присвоєно індекси від А до Q. Для кожної зони характерна певна інтенсивність опадів, виведена на основі статистичних даних.

Верхні діапазони частот характеризуються вікнами (смугами з відносно низькими рівнями послаблення) та смугами поглинання, де спостерігається дуже високе послаблення. Вікна та смуги поглинання визначаються передусім поглинальними властивостями газів, здебільшого кисню та водяної пари. Поглинання електромагнітної хвилі при поширенні через атмосферу може викликати збудження молекулярних структур газів.

На сантиметрових або міліметрових довжинах хвиль молекули кисню та атмосферної водяної пари мають відповідні розміри та масу для виявлення резонансів, що поглинають енергію та послаблюють поширювані радіохвилі. Газове поглинання в кисні прямує до максимуму поблизу 60 та 119 ГГц, а поглинання у водяній парі максимальне поблизу 22 і 183 ГГц. Проте сліди газів можуть істотно впливати на значення послаблення за відсутності водяної пари орієнтовно на частотах понад 70 ГГц.

Опади, особливо у вигляді дощу, викликають поглинання та розсіювання радіохвиль, а також, меншою мірою, обертання поляризації поширюваних хвиль. Ці ефекти мають тенденцію до об'єднання, що викликає значне послаблення.

Частинки дощу розглядаються як головна причина порушень і призводять до вищого рівня послаблення, аніж інші частинки, наприклад снігу, крижаної крупи, туману та земляного пилу. Розрахунки погонного послаблення на даній частоті значною мірою залежать від мікроструктури дощу, наприклад температури, розподілу, кінцевої швидкості, розміру та форми крапель. Розрахунки утруднюються й через нестачу емпіричних даних та складність моделювання мікроструктури дощу. Зрозуміло, що двома головними чинниками, які впливають на поширення радіохвиль на частотах понад 20 ГГц, є поглинання в газах та послаблення в опадах.

Прокоментуємо деякі ділянки частотних смуг (див. рис. 6.9).

20 ... 40 ГГц. На атмосферне поширення радіохвиль у цій області впливає пік поглинання у водяній парі на частоті 22,3 ГГц. Розподіл смуг частот у цій області відбиває можливість спільного використання частот унаслідок порівняно великого послаблення в цьому діапазоні, особливо в інтервалі 20...30 ГГц. На відміну від розподілів на частотах понад 40 ГГц, у діапазоні 30...40 ГГц низка смуг частот розподілено для виключного використання, що є наслідком нижчого послаблення радіохвиль в області 30...40 ГГц, і через це уможливорюється підвищений рівень завад. Наприклад, смугу 33,4...34,2 ГГц розподілено *для радіолокації*.

Вікно W(1) 30,5...51,4 ГГц. Це вікно значною мірою вільне від впливу поглинання. Послаблення в діапазоні зазвичай коливається від 0,06 до 0,1 дБ на кілометр. Обмежена досяжна потужність передавача, послаблення в дощі на цих частотах і та обставина, що ця смуга міститься на межі області поглинання, — усе це призводить до тенденції виключення її з користування супутниковими лініями високої надійності в напрямі космос–Земля.

Діапазон поглинання A(1) 51,4...66 ГГц. Пік атмосферного поглинання проявляється приблизно на 60 ГГц. Високий рівень послаблення внаслідок поглинання робить смугу особливо придатною *для міжсупутникового зв'язку та радіолокаційного контролю наземного руху*, де через високий рівень послаблення можна отримати користь для забезпечення розв'язки, якої вимагають ці служби. Проте при присвоєннях частот у цьому діапазоні необхідно виявляти обережність, оскільки характеристики послаблення, викликаного поглинанням, по діапазону нерівномірні.

Вікно W(2) 66–105 ГГц. Послаблення в атмосфері в цьому вікні коливається зазвичай від 16 дБ/км у своєму максимумі приблизно на 60 ГГц до 0,3 дБ/км на 85 ГГц та приблизно 0,5 дБ/км на 105 ГГц. Високий рівень послаблення в цьому діапазоні можна певною мірою компенсувати за допомогою вузьких променів, що досягаються за менших необхідних розмірах

антен. Характеристики поширення радіохвиль, погодні умови та використання вузьких променів роблять верхню частину (від 90 до 100 ГГц) цього діапазону особливо придатною для радіолокаційних служб.

Варто зазначити, що $W(2)$ є найвищим вікном, в якому існують розподіли *радіомовній супутниковій службі*. Через послаблення в гідрометеорах радіомовні служби в цих смугах не можуть працювати з необхідною надійністю за наявного рівня розвитку техніки. Здійсненість цих служб ще належить встановити.

Картина розподілу смуг частот понад 105 ГГц, принаймні до частоти 400 ГГц, яка є межею Таблиці розподілу частот МСЕ, зазвичай повторює розподіл частот, нижчих за 105 ГГц. У цих верхніх діапазонах існує та *залишається невикористаною велика частина спектра*. Тут зроблено низку розподілів для *Радіоастрономічної служби та служби космічних досліджень*.

6.8.2.2. Використання спектра частот 40...3000 ГГц

Існує низка переваг у використанні для цілей радіозв'язку вищих діапазонів частот. Найістотніші з них полягають у *наявності спектра для присвоєнь та у відсутності обмежень за шириною смуг* порівняно з більш низькочастотними діапазонами.

Це дає змогу без особливих зусиль забезпечити використання широко-смугових систем для передавання відеосигналів, звукових сигналів і даних із високою швидкістю та застосовувати повторне використання частот на порівняно малих відстанях до кількох сотень метрів. Як правило, апаратура більш компактна, включно з передавальними та приймальними антенами, де вузькі промені зменшують можливість завад із боку інших систем, тим самим поліпшуючи використання спектра. Цей діапазон має враховуватися при розподілах *для наземних і, особливо, супутникових систем*.

Використання верхніх діапазонів частот, особливо в інтервалі 40...100 ГГц, обмежується рівнем доступності належного обладнання за помірними цінами. Останніми роками інтенсивні дослідження та розробки у сфері компонентів техніки міліметрових хвиль підвищили доступність обладнання, зокрема внаслідок розвитку технології та зниження вартості. Відповідні компоненти для експериментальних цілей існують також на частотах понад 100 ГГц, проте їхня вартість висока. І все ж за умови повного використання вищих діапазонів можливості виробництва апаратури мають зрости.

Використання радіочастотного спектра понад 40 ГГц можна поділити на дві категорії:

- використання наземними системами та службами;
- використання супутниковими системами та службами.

Використання наземними системами та службами. Розширення використання діапазонів частот, вищих за 40 ГГц, наземними фіксованими службами сповільнилося внаслідок конкуренції з боку волоконно-оптичного зв'язку. Проте сам характер рухомої служби диктує необхідність використання випромінювальних систем.

Було запропоновано застосовувати тепер на практиці мікростільникові радіосистеми з радіусом чарунок менш як 1 км, що використовують переваги послаблення в атмосфері на 60 ГГц і 120 ГГц.

Існують присвоєння діючим радіосистемам у смузі 38...40 ГГц. Зазвичай ці системи застосовуються для зв'язку між урядовими організаціями з метою запобігання стихійним лихам та для передавання даних на належні їм комп'ютери й термінали. Передбачається, що ця смуга може знадобитися для телебачення високої чіткості (ТБВЧ). Для таких служб уже проведено випробування в експлуатаційних умовах.

Системи, що потребують високої швидкості передавання даних (системи передавання відеосигналів і високошвидкісного цифрового передавання даних) значною мірою залежать від наявності апаратури за економічно виправданими цінами. Можна очікувати на розширення використання спектра понад 40 ГГц у міру надходження апаратури за доступними цінами. У верхніх діапазонах частот використовуються (і вже перебувають в експлуатації) деякі системи.

У діапазоні 60 ГГц запропоновано *радіолокаційні системи двостороннього передавання даних між автомобілями, що рухаються, для контролю наземного руху*. Система цього типу могла б застосовуватися, наприклад, для забезпечення орієнтації в дорожній обстановці та навігації в межах міста з метою розв'язання проблем інтенсивного руху. Антени з малим розкритом, рекомендовані для таких рухомих систем, забезпечують дуже високе розрізнення за дальністю (відстаню) та напрямом.

Використання супутниковими системами та службами. Нині в діапазоні понад 40 ГГц існують смуги частот, *розподілені фіксованій, рухомій і радіомовній супутниковим службам, а також міжсупутниковій службі*.

Сьогодні вкладаються значні кошти в розробку рухомих супутникових систем у діапазоні 43,5...47 ГГц. Досі через відсутність відповідного високоякісного обладнання використання цієї смуги обмежується лініями вгору (від Землі до супутника). До появи відповідної апаратури лінії вниз (від супутника до Землі) використовуватимуть смугу 20...30 ГГц. Цю смугу запропоновано також для терміналів земних станцій із малими антенами (VSAT).

Смуги частот, розподілені міжсупутниковій службі, існують у діапазонах 22 ГГц і 25...27 ГГц.

Окрім того, розглядається питання про використання міжсупутниковою службою діапазону 60 ГГц, робота в якому мінімізує завади завдяки піку атмосферного поглинання в кисні. Водночас розглядається можливість використання міжсупутниковими службами частот оптичного діапазону 28 300 ГГц (10,6 мкм) і 566 000 ГГц (0,53 мкм), де з успіхом може застосовуватись відповідна технологія світлових хвиль.

Службу космічних досліджень призначено здебільшого для супутникових досліджень далекого космосу та навколоземного простору. Лінії електров'язку використовуються для здійснення зв'язку й управління пілотованими та непілотованими супутниками. Безпосередньо для ліній космічних станцій розглядаються смуги частот 21... 24 ГГц; 25,25...25,55 ГГц; 27,1...27,5 ГГц. Для досліджень далекого космосу за програмами НАСА рекомендовано смугу частот 32...33 ГГц.

Активно вивчаються також переваги радіосистем персонального зв'язку з використанням експериментального супутника зв'язку з шириною смуги 3 ГГц у діапазоні 50/40 ГГц.

6.8.2.3. Системи електрозв'язку, що використовують електромагнітний спектр понад 3000 ГГц

Верхня частина спектра, безперечно, не обмежується частотою 3000 ГГц, а сягає вище — до області інфрачервоного та видимого світла.

Використання оптичних діапазонів спектра є доброю альтернативою використанню РЧС та може сприяти пом'якшенню гостроти проблеми перевантаження радіочастотних діапазонів.

Поширення радіохвиль у цих смугах не можна назвати сприятливим через необхідність ліній прямої видимості між випромінювачами та рецепторами.

Як впливає з рис. 6.9, послаблення в атмосфері через туман, а також розсіювання енергії та дифузія в дощі надзвичайно високі. Послаблення в тумані має тенденцію до переважання в інфрачервоній та видимій областях частот із передбачуваними втратами на трасі близько 15...60 дБ/км. До загального послаблення роблять внесок також штучні дими, створювані викидами димових труб, і смог.

Унаслідок цього та через величезну потужність, необхідну для подолання цього послаблення, корисна дальність пристроїв інфрачервоного та оптичного діапазонів на приземних трасах обмежується в найкращому разі кількома кілометрами. Це жодною мірою не обмежує дальності в космосі через відсутність зазначених коефіцієнтів послаблення.

Основним джерелом інфрачервоної енергії та енергії видимого світла слугують лазери. Лазерні генератори різних типів здатні генерувати електромагнітні хвилі у спектрі частот, що охоплює діапазон від міліметрових хвиль до інфрачервоної, видимої, ультрафіолетової та близької до м'якої рентгенівської областей.

Випромінювання може генеруватися лазерами кількох типів, зокрема лазерами на рідкому барвнику, напівпровідниковими лазерами на GaAlAs, твердотілими та газовими лазерами. Як джерела неперервного та імпульсного світлового випромінювання застосовуються також світлодіоди (СІД), що не є лазерами у прямому розумінні. Випромінювання на різних довжинах хвиль досягається завдяки використанню нелінійних властивостей матеріалів, змішуванню світлових випромінювань, параметричній генерації та застосуванню методів множення частоти тощо.

Обнадійливі результати було отримано на дослідному зразку передавальної системи в атмосфері з використанням світлодіодного лазера близького інфрачервоного діапазону. Розроблена та випробувана протягом року в Японії система одночасно передавала у смузі шириною 4 ГГц сигнали кольорового телебачення та звукові сигнали із застосуванням фазоімпульсної модуляції (ФІМ). За припустимого для кольорового сигналу відношення сигнал/шум (С/Ш) 30 дБ, що ґрунтується на отриманих даних, коефіцієнт готовності оптичної лінії передавання в атмосфері на відстані 2 км від Токіо становив, за оцінками, 99,9%.

Отже, існує багато наземних і супутникових систем, що працюють на частотах понад 20 ГГц. Окрім того, багато доволі корисних систем працюють на частотах понад 3000 ГГц, які зазнають послаблення в атмосфері, що обмежує їх застосування лише короткими відстанями.

Управління використанням спектра на частотах понад 20 ГГц значною мірою залежить від наявності даних щодо поширення радіохвиль та моделей їх застосування.

Розрахунки робочих параметрів системи складні й істотно відмінні від розрахунків у нижчих діапазонах частот. У цьому плані для забезпечення ефективного використання спектра необхідний значно більший обсяг як емпіричних, так і статистичних даних щодо поширення радіохвиль.

Не всі системи можуть використовувати вищі частоти з технічних, експлуатаційних чи економічних причин або внаслідок поєднання всіх трьох причин. Отже, необхідний пошук шляхів та засобів для ефективнішого використання наявного спектра.

6.9. Методи ефективного використання часової складової обсягу РЧР

При розгляді використання рознесення радіозасобів за часом як засобу підвищення ефективності РЧР зробимо три зауваження.

Перше. Якщо за умовами роботи радіозасоби нормально функціонують почергово, то завдання «часового рознесення» засобів розв'язується порівняно простими організаційними заходами з розподілу часу функціонування при їх експлуатації (або розробляється у процесі їх проектування). Цей випадок *не стосується завдання щодо забезпечення ЕМС*, оскільки засоби не функціонують одночасно (визначення поняття ЕМС містить ознаку *одночасності функціонування засобів*).

Друге. Якщо для забезпечення можливості функціонування одного засобу доводиться припиняти роботу іншого засобу (незважаючи на її необхідність), то постає потреба визначати пріоритет одного засобу відносно іншого за його функціональним призначенням. І таке часове рознесення *не стосується завдання щодо забезпечення ЕМС*, оскільки засоби не працюють спільно та одночасно.

Третє. І, нарешті, радіозасоби працюють із деякою дискретністю передаваних повідомлень у часі (типовий приклад роботи рухомих радіозасобів сеансами, коли йдеться про випадковість відрізків часу сеансів і пауз). Якщо середній час тривалості сеансів малий, а середній час тривалості пауз, навпаки, великий, то мала й імовірність виникнення завад, бо вона визначається збігом (частковим або повним) у часі сеансів роботи засобів, із яких один є джерелом завад, а другий — рецептором. Цей випадок *стосується завдання щодо забезпечення ЕМС*, оскільки він пов'язаний із імовірністю одночасної роботи РЕЗ.

Як приклад ефективного використання часової складової обсягу РЧР можна навести застосування методу надшвидкодії. Підготовлене повідомлення попередньо записується в пам'ять і далі передається («вистрілюється») із дуже великою швидкістю. Вищій швидкості передавання відповідає більша смуга частот випромінювання $\Delta F_{\text{сигн}}$. Отже, вигравш від використання часової складової супроводжується програшем за значенням $\Delta F_{\text{сигн}}$. Такий прийом може бути корисним, наприклад, при розв'язанні завдань приховування самого факту передавання по радіоканалах, але в загальному випадку його не можна віднести до засобів ефективного використання обсягу РЧР шляхом зменшення останнього.

Урахувавши зазначений імовірно-часовий чинник, можна ефективніше розподіляти РЧР, ніж у тому разі, коли розподіл базується на безперервній роботі засобів. Типовими (але не єдиними) представниками, які реалізують імовірно-часове рознесення, є *системи з рівнодоступними каналами*.

6.9.1. Системи з рівнодоступними радіоканалами

До відповідних методів передусім слід віднести *усуспільнене (групове) використання радіочастотного спектра* замість роботи радіозасобів на закріплених за кореспондентами частотах. Системи, що використовують цей принцип, інакше називаються системами з рівнодоступними радіоканалами. Існують два різновиди таких систем — *адаптивні* та *транкінгові (транкові)*.

В обох системах вільні (не зайняті завадами або передаваними радіосигналами) канали *на даному часовому відрізку* можуть використовуватися іншими абонентами, які потребують передавання трафіку. Після сеансу зв'язку канал (частотний ресурс) вивільняється для використання іншими користувачами. При цьому чим менше триває сеанс радіозв'язку, тим частіше вивільняється канал для користувачів.

В *адаптивних системах*, як правило, діє критерій відношення сигнал/завада, який входить до усередненого критерію ефективності за часовими втратами у процесі передавання інформації (рис. 6.10).

У комерційних системах тривалість сеансу зв'язку може бути закладено в оплату за надавані послуги, тобто регульовальним елементом використання спектра можуть бути економічні заходи.

Зазначені *технічні функції покладаються на білінгові системи* мережі зв'язку.

У *транкових системах* знаходить застосування ще одна ідея подальшого «ущільнення» часової складової РЧР шляхом заповнення навіть пауз здійснюваної по радіоканалах розмови. Із появою порівняно довгої паузи детектор активності абонентів виробляє команду на вивільнення радіоканалу та надання його іншій парі абонентів, що потребують обслуговування їхньої заявки. Продовження передавання розмови першої пари абонентів може поновитися вже на іншому вільному каналі (парі частот) в іншій смузі частот. Такий режим роботи дістав назву *транкінгу передавання* (замість транкінгу повідомлень, коли радіоканал надається для ведення розмови на весь час сеансу разом із паузами). Використання такого режиму під час найвищого навантаження збільшує обслуговуваний трафік, а отже, є засобом, що підвищує ефективність використання РЧР.

Теоретичні основи, принципи побудови та функціонування відповідних систем тут не розглядаються. Ідею транкінгу можна вважати різновидом пакетного передавання інформації в системах радіозв'язку.

6.9.2. Системи пакетного радіозв'язку

Пакетне передавання інформації ще більше «ущільнює часову координату» РЧР у разі використання навіть пауз під час сеансу зв'язку користувачів. Із появою паузи вона «займається» передаванням інформації інших абонентів.

Перша публічна демонстрація принципу пакетного передавання (із комутацією пакетів по 128 байт) відбулася у США на Першій міжнародній конференції з міжмашинного обміну в 1972 році. Комутацію пакетів спочатку було розроблено для полегшення ефективного колективного користування ресурсами в обчислювальній мережі з «пульсуючим» трафіком по телефонних лініях зв'язку.

Пакетний радіозв'язок поширює цю концепцію на сферу мереж і систем радіозв'язку, являючи собою ефективний засіб використання багатостанційного доступу до каналів, зокрема для абонентів рухомої радіослужби та

великої кількості джерел трафіку. Вища ефективність використання спектра досягається розділенням використання радіоканалу в часі багатьма користувачами, що безпосередньо підвищує значення часового множника в рівнянні для обсягу РЧР.

Пакет — це повідомлення в цифровій формі або дані (обсяг яких обмежений, але може варіюватися) разом із супутньою службовою інформацією (адресами отримувача та відправника, покажчиками для вибору маршруту по комутованій мережі тощо).

У деяких конфігураціях мереж пакети можуть спрямовуватися через кілька ретрансляторів до досягнення ними кінцевого пункту. Термінал призначення зазвичай підтверджує правильність приймання та утримання пакета. Якщо приймання пакета не підтверджується, він знову передаватиметься передавальною станцією до його приймання або автоматичного відбою.

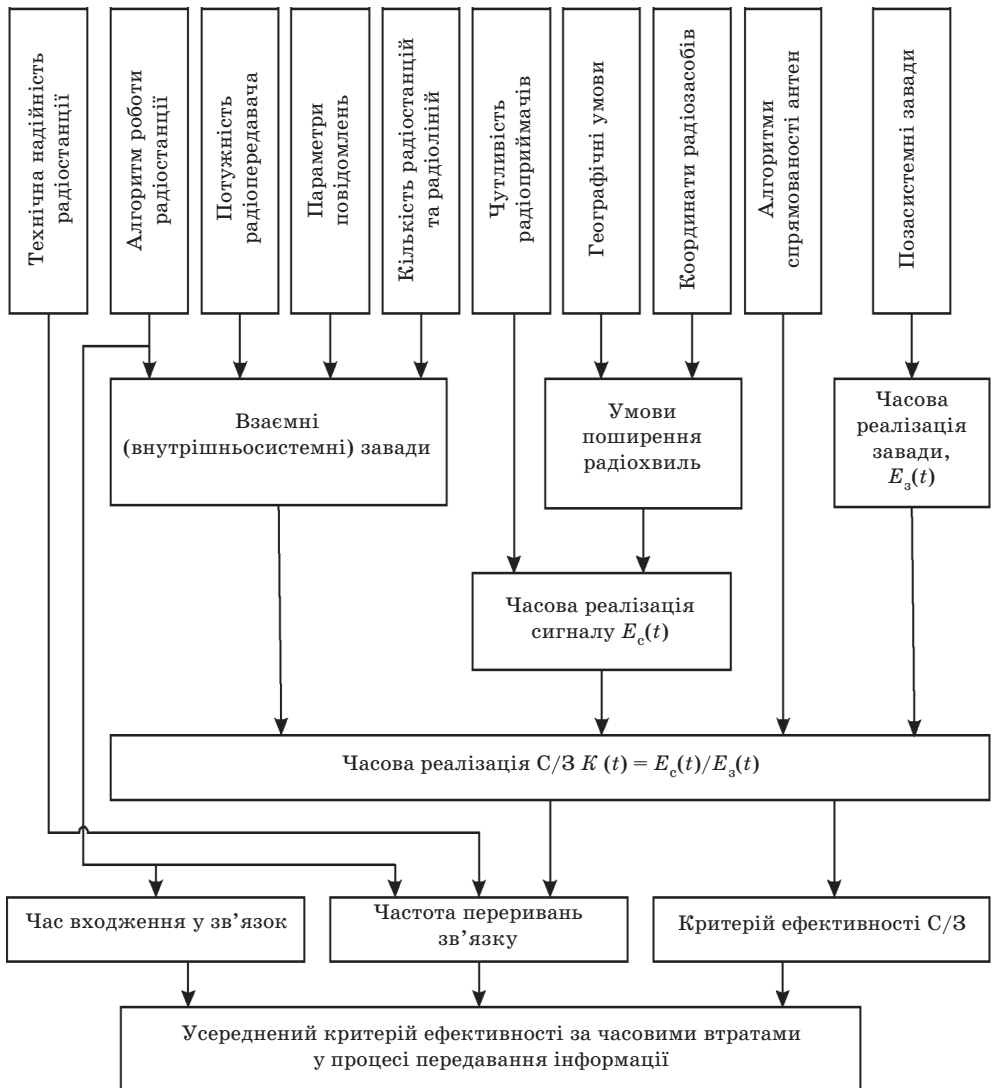


Рис. 6.10. Принцип побудови усередненого критерію ефективності за часовими втратами

Ідею методу пакетного передавання інформації запозичено з поштового та телеграфного зв'язку: при передаванні телеграми (листа) остання надходить до адресата через кілька транзитних пунктів (вузлів поштового зв'язку), а переадресування від пункту до пункту здійснює людина (для листів — сортувальна машина). У вузлах зв'язку комутованої мережі електровз'язку з використанням ЕОМ це реалізується автоматично, із мінімумом часових втрат.

Пакет певної довжини — це природна одиниця для зв'язку між ЕОМ: процесори запам'ятовують, обробляють і передають інформацію не у вигляді безперервних потоків, а у вигляді сегментів (один чи кілька пакетів) скінченної довжини.

Поняття *комутації пакетів* містить у собі індивідуальну обробку пакетів кожним комутатором або вузлом зв'язку так, що результуюча пропускна здатність цифрової мережі може динамічно розподілятися вузлом (комутатором) відразу після приймання пакетів, тобто час передавання пакета зазвичай становить малі частки секунди.

Появу пакетного передавання було зумовлено недоліками систем (мереж) із комутацією каналів, в яких канали зв'язку заздалегідь резервуються за кореспондентами на весь час діалогу (сеансу зв'язку); при цьому сумарний час, витрачений на передавання повідомлень діалогу, значно менший від тривалості самого діалогу (наприклад, коли 90% чи більше пропускної здатності каналу не використовується через «паузи»). За умов трафіку, що пульсує, ефективність використання пропускної здатності каналу зв'язку низька. «Паузи» під час сеансу передавання двох кореспондентів можна було б використати для передавання пакетів інформації інших кореспондентів. У разі пакетного передавання канал (ланка мережі зв'язку) усупільнюється та динамічно надається першому, що отримав доступ, або *першому в черзі користувачеві*.

Таким чином, суть пакетного передавання на відміну від методу комутації каналів, полягає не лише в тому, що передавані повідомлення «нарізаються» пакетами, а й у тому, що кожний пакет отримує адресу і передається по мережі, яка містить переприймальні вузли зв'язку. Кожний вузол (аналізуючи адресу) приймає рішення, в який вузол необхідно далі спрямувати повідомлення. При цьому пакети можуть передаватися по мережі незалежно один від одного, зокрема й різними шляхами.

У пакетних радіомережах може постати потреба врахування скінченної швидкості поширення радіохвиль.

Наявність у вузлах зв'язку черг, довжина яких залежить від поточного навантаження, не дозволяє здійснювати передавання пакетів у реальному масштабі часу (тобто без істотних затримок). Затримка повідомлень (або їхніх частин) при передаванні по мережі не є незмінною: вона залежить від «завантаження» мережі.

Процес надходження запитів (заявок) на передавання пакетів інформації не просто має пульсуючий характер, а й загалом є вкрай непередбачуваним; моменти надходження заявок і тривалість їх обслуговування заздалегідь невідомі. Оскільки запити користувачів на доступ до каналного ресурсу наперед непередбачувані, то постає необхідність визначення правил доступу, які забезпечували б координацію користувачів із метою запобігання взаємним конфліктам. Ці правила зазвичай стандартизуються та називаються *протоколами доступу*.

Аналіз показує, що найбільша ефективність використання пропускну здатності каналу зв'язку досягається в разі передавання коротких повідомлень, характерних для аналогового зв'язку. А якщо повідомлення мають велику тривалість, то мережі з комутацією каналів будуть більш ефективні, аніж пакетні: у мережах із комутацією каналів немає потреби поділяти повідомлення на короткі блоки (сегменти, пакети) і вводити до них додаткову надмірність, пов'язану з адресацією та іншою службовою інформацією.

Ще одним недоліком мережі з комутацією пакетів є необхідність переробки в кожному вузлі мережі *всієї* інформації, яка проходить через нього, із метою виділення адресної частини *кожного* пакета та вибору подальшого маршруту, що підвищує вимоги до обчислювальних ресурсів у вузлах мережі. Особливості та деталі функціонування пакетних радіомереж розглядаються, зокрема, у Рекомендації ITU-R F.764-1 [142]. Докладний розгляд пакетного радіозв'язку виходить за межі цього видання.

6.10. Методи ефективного використання просторової складової РЧР

6.10.1. Загальні відомості

Майже всі радіосистеми, що функціонують на частотах понад 1 ГГц (радіолокаційні, радіонавігаційні, радіорелейні, супутникові), використовують широкосмугові радіосигнали. З огляду на обмеженість радіочастотного ресурсу (навіть на цих частотах) смуги частот таким системам виділено *для спільної та одночасної роботи*.

Використання однієї й тієї самої смуги частот різними радіослужбами набуває нині дедалі більшого значення через обмеженість РЧР. Робота на суміщених частотах можлива *за умови забезпечення рознесення засобів по простору* з використанням критеріїв ЕМС РЕЗ. Проте спільне використання частот пов'язане з необхідністю ретельного аналізу технічної можливості забезпечення ЕМС кожного (як нововикористовуваного, так і того, що вже експлуатується) засобу.

Спільне та одночасне використання РЧР у одних і тих самих смугах частот стало можливим завдяки раціональному *обмеженню потужності випромінювання в кожній смузі та просторовому розділенню систем за допомогою антен із високими спрямовувальними властивостями та різною поляризацією*.

Потужність випромінювання корисного сигналу має бути достатньою для його передавання на задану відстань *без надмірного розширення «радіопростору»*. Коли йдеться про можливість спрямованого випромінювання, то радіопростір бажано мати якомога меншим, що досягається вдосконаленням діаграми спрямованості випромінювача та рецепторів.

Технічні вимоги, що забезпечують спільну роботу засобів (із припустимими завадами) визначаються міжнародними угодами. В основу цих угод часто покладено рекомендації МСЕ, наприклад, такі:

S.337-4 — Частотне та територіальне рознесення;

S.465-6 — Еталонна діаграма спрямованості антени земної станції для використання при координації та для оцінювання завад у діапазоні частот від 2 до майже 30 ГГц;

S.580-5 — Діаграми випромінювання для використання як норм при проектуванні антен земних станцій, що працюють із геостаціонарними супутниками;

S.670-1 — Гнучкість розміщення супутників на орбіті як норма розрахунку;

S.672-4 — Діаграма спрямованості супутникової антени для застосовування як мети проектування у фіксованій супутниковій службі, що використовує геостаціонарні супутники;

S.694 — Еталонна діаграма спрямованості для антен суднових земних станцій;

S.728-1 — Максимально припустимий рівень позаосьової густини еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності (EIBP) від антен із дуже малими апертурами (VSAT);

S.731-1 — Еталонна крос-поляризаційна діаграма спрямованості антени земних станцій для використання при координації частот та оцінюванні рівня завад у діапазоні частот від 2 до 30 ГГц;

S.736-3 — Оцінювання поляризаційної селекції при розрахунках рівня завад між геостаціонарними супутниковими мережами фіксованої супутникової служби;

S.737-0 — Взаємозв'язок між методами технічної координації у фіксованій супутниковій службі;

S.738-0 — Процедура визначення необхідності координації між геостаціонарними супутниковими мережами, що працюють у спільних смугах частот;

S.739-0 — Додаткові методи для визначення необхідності повної координації між геостаціонарними супутниковими мережами фіксованої супутникової служби, що працюють у спільних смугах частот;

S.740-0 — Технічні методи координації для фіксованих супутникових мереж;

S.742-1 — Методики використання спектра (для ГСО);

S.743-1 — Координація між супутниковими мережами на слабконахилених геостаціонарних супутникових орбітах (ГСО) та між цими мережами й супутниковими мережами, що використовують супутники на ГСО з нульовим відхиленням;

S.744-0 — Заходи з підвищення ефективності використання ресурсів орбіти та спектра для супутникових мереж, що працюють у кількох службах у одній або кількох смугах частот;

S.1002-0 — Методи управління використанням орбіти для фіксованої супутникової служби;

S.1038 — Ефективне використання геостаціонарної супутникової орбіти та спектра в діапазоні частот 1...3 ГГц рухомими супутниковими системами;

1049-1 — Метод управління використанням спектра, призначений для забезпечення частотних присвоєнь наземним службам у прикордонних районах;

1063 — Критерії суміщення між фідерними лініями РВСС та іншими лініями Земля—космос або космос—Земля ФСС;

1069 — Сумісність між фіксованою супутниковою службою та службою космічних досліджень у смузі 13,75...14 ГГц;

1091 — Еталонні діаграми позаосьового випромінювання для антен рухомої земної станції, які працюють у сухопутній рухомій супутниковій службі в діапазоні частот 1...3 ГГц;

1051 — Суміщення між міжсупутниковою службою, що використовує геостаціонарні супутники фіксованої супутникової служби, та радіонавігаційною службою в діапазоні 33 ГГц;

1253 — Технічні можливості для сприяння координації мереж фіксованої супутникової служби у визначених сегментах дуги орбіти та смугах частот;

1256 — Методологія визначення максимальної сумарної густини потоку потужності на геостаціонарній супутниковій орбіті у смузі частот 6700... ..7075 МГц, створюваної фідерними лініями служби у напрямі «космос—Земля»;

1257 — Аналітичний метод розрахунку статистики видимості для супутників на негеостаціонарній супутниковій орбіті, спостережуваних із пункту на поверхні Землі;

1325 — Методика моделювання для оцінювання короткочасних завад, що виникають між мережами фіксованої супутникової служби (ФСС) із супутниками на негеостаціонарній орбіті (НГСО) та іншими НГСО ФСС або ГСО ФСС мережами під час роботи на одній частоті та в одному напрямі;

1326 — Можливість спільного використання частот міжсупутниковою службою та фіксованою супутниковою службою у смузі частот 50,4... ..51,4 ГГц;

1327 — Вимоги та відповідні смуги частот для роботи міжсупутникової служби в діапазоні 50,2...71 ГГц;

1328 — Характеристики супутникової системи, використовувані під час діалізу спільного використання частот між геостаціонарними (ГСО) та негеостаціонарними (НГСО) супутниковими системами у фіксованій супутниковій службі (ФСС), включаючи фідерні лінії для рухомої супутникової служби (РСС);

1329 — Суміщення частот у смугах 19,7...20,2 і 29,5...30,0 ГГц між системами в рухомій супутниковій службі та системами у фіксованій супутниковій службі;

1339 — Можливість спільного використання частот у діапазоні 50... ..65 ГГц пасивними бортовими датчиками супутникової служби дослідження Землі та міжсупутниковими лініями зв'язку геостаціонарних супутникових мереж;

1340 — Спільне використання смуги 15,4...15,7 ГГц фідерними лініями рухомої супутникової служби та повітряною радіонавігаційною службою в напрямі Земля—космос;

1341 — Спільне використання смуги 15,4...15,7 ГГц фідерними лініями рухомої супутникової служби та повітряною радіонавігаційною службою в напрямі космос—Земля та захист радіоастрономічної служби у смузі 15,35...15,4 ГГц;

S.1342-0 — Метод визначення координаційних відстаней у діапазоні 5 ГГц між станціями міжнародної стандартної мікрохвильової системи посадки, що працюють у повітряній радіонавігаційній службі, та негеостаціонарними станціями рухомої супутникової служби, що забезпечують фідерні лінії в напрямі Земля—космос.

У [14] згадано один зі способів зменшення рівня завад у супутникових радіолініях із використанням «багатопромених антен» (БПА), які утворюють «точкові промені».

У чинних Рекомендаціях МСЕ-Р не розрізняють частотне та просторове рознесення. І це цілком природно, оскільки в разі неможливості достатнього просторового рознесення завдання ЕМС розв'язується додатковим частотним рознесенням (і навпаки). Ця думка ілюструється, зокрема, у Рекомендації ITU-R SM.337-4 [143].

Витяг із неї наводиться далі.

«Асамблея радіозв'язку МСЕ бере до уваги таке:

а) у більшості випадків до основних факторів, які визначають відповідні критерії частотного або територіального рознесення, належать:

- необхідна потужність і потрібний спектральний розподіл прийманого корисного сигналу;

- потужність і спектральний розподіл завадних сигналів та шуму, що надходять на вхід приймача;

- залежність втрат передавання радіообладнання від відстані;

б) у загальному випадку передавачі створюють випромінювання за межами необхідної ширини частот, займані випромінюванням;

в) відбувається вплив багатьох факторів, зокрема властивостей середовища передавання (які характеризуються мінливістю й важко піддаються визначенню), характеристик приймача, а також щодо слухового приймання — розрізнявальної здатності слухового апарату людини;

г) у разі частотного або територіального рознесення між радіообладнанням можливі компроміси».

Додаток 1

Основні формули

Наведемо формули, що дають змогу виміряти ефекти взаємного впливу корисних сигналів, завад і характеристик приймача для різних частот і частотно-територіальних рознесенень. Зазначені формули містять:

- частотно-залежне подавлення (FDR), що є мірою послаблення спектра випромінювання завадного передавача за рахунок кривої вибірності приймача;

- характеристику частота—відстань (FD), що є мірою мінімально необхідного територіального рознесення між приймачем, який сприймає завади, та джерелом завад, залежно від різниці їхніх частот настроювання;

- відносне радіочастотне захисне відношення A (див. Рекомендацію ITU-R BS.560-4 [144]), що є різницею, вираженою у децибелах, між захисним відношенням, коли носійні корисного та завадного передавача відрізняються на Δf , та захисним відношенням за умови рівності частот обох передавачів.

- Такі характеристики, як частота—відстань та частотно-залежне подавлення дають змогу оцінити вплив механізму пов'язування завад між джерелом завад і приймачем, являючи собою основні вирішення для багатьох випадків оцінювання завад. Звернення до цих характеристик полегшує розв'язання проблем спільного використання частоти в суміщеному каналі та завад у сусідній смузі або каналі шляхом оцінювання критеріїв мінімального частотного та територіального рознесення між джерелом завад і приймачем, необхідних для забезпечення прийнятної якості роботи приймача.

Рівень завад у приймачі залежить від підсилень і послаблень сигналу та завади, що діятимуть між джерелом завади та приймачем.

Зазначений рівень I , дБВт, подається у вигляді

$$I = P_t + G_t + G_r + L_f(d) - FDR(\Delta f). \quad (6.21)$$

Тут P_t — потужність завадного передавача, дБ; G_t — коефіцієнт підсилення антени джерела завади в напрямі приймача, дБ (за випромінюванням); G_r — коефіцієнт підсилення антени в напрямі джерела завади, дБ (за випромінюванням); $L_f(d)$ — основні втрати передавання для відстані d рознесення між джерелом завади та приймачем, дБ (див. Рекомендацію ITU-R P.341); $FDR(\Delta f)$ — частотно-залежне подавлення, дБ:

$$FDR(\Delta f) = 10 \lg \frac{\int_0^{\infty} P(f) df}{\int_0^{\infty} P(f) |H(f + \Delta f)|^2 df}, \quad (6.22)$$

де $P(f)$ — спектральна густина потужності завадного сигналу на еквівалентній проміжній частоті (ПЧ); $H(f)$ — амплітудно-частотна характеристика приймача (Δf — різниця частоти f_t синхронізації джерела завади та частоти f_r настроювання приймача: $\Delta f = f_t - f_r$).

Частотно-залежне подавлення FDR , дБ, можна подати у вигляді суми двох членів: OTR — подавлення на частоті настроювання, дБ, і OFR — подавлення поза частотою настроювання, дБ, яка являє собою додаткове подавлення в результаті розстроювання між джерелом завади та приймачем.

При цьому виконуються такі співвідношення:

$$FDR(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f), \quad (6.23)$$

де

$$OTR = 10 \lg \frac{\int_0^{\infty} P(f) df}{\int_0^{\infty} P(f) |H(f)|^2 df}, \quad (6.24)$$

$$OFR(\Delta f) = 10 \lg \frac{\int_0^{\infty} P(f) df}{\int_0^{\infty} P(f) |H(f + \Delta f)|^2 df}. \quad (6.25)$$

Подавлення на частоті настроювання називають також поправним коефіцієнтом, який часто можна апроксимувати.

Додаток 2

Методика визначення частотного та територіального рознесення для радіосистем

1. Вступ. Добре відомо, що додержання правил частотно-територіального рознесення (ЧТР) — важлива частина процесу управління використанням радіочастотного спектра для більшості радіослужб.

У службах, які використовують принцип розділення смуг на канали, правила ЧТР набирають такої форми: передавачі, що працюють в одному каналі, мають бути рознесені на відстань (у кілометрах) не менш ніж d_0 ;

передавачі, що працюють у сусідньому каналі, — на відстань не менш ніж d_1 ; передавачі, рознесені на два канали, мають перебувати на відстані не менш ніж d_2 тощо.

Для більш чи менш давніх технологій правила ЧТР добре відомі. Проте з появою нових методів постає запитання: які правила ЧТР мають застосовувати фахівці з управління спектром у тих випадках, коли в одній смузі частот працюють колишні й нові системи?

Методику, необхідну для визначення правил ЧТР як між однаковими, так і між різними системами наведено далі.

2. Методика. Для розробки нового правила ЧТР потрібно обчислити рівень завад на вході приймача, який сприймає заваду, а також визначити критерій прийнятних завад.

2.1. Розрахунок завад. Залежить він від двох факторів: спектрального та просторового.

Спектральний фактор залежить від спектральних характеристик завадного передавача та амплітудно-частотної характеристики приймача, що сприймає завади. Для розрахунків необхідно точно знати спектральну густину потужності завадного сигналу, яка залежить від таких чинників, як використовуваний метод модуляції та ширина смуги частот інформаційного сигналу (для аналогових систем) і швидкість передавання даних (для цифрових систем).

Стосовно приймача, що сприймає завади, то необхідно знати його еквівалентні амплітудно-частотні характеристики за ПЧ.

Як основу для моделювання частотної характеристики приймача за ПЧ можна брати відомості, що їх надає виробник, а саме: ширину смуги блока ПЧ за рівнем 6 дБ і 40 дБ.

Спектральний фактор подається за допомогою коефіцієнта $OCR(\Delta f)$, дБ, подавлення сигналів поза смугою каналу, що визначається такою формулою:

$$OCR(\Delta f) = -10 \lg \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} P(f) |H(f + \Delta f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{+\infty} P(f) df}, \quad (6.26)$$

де $P(f)$ — спектральна густина потужності завадного сигналу, Вт/Гц; $H(f)$ — еквівалентна амплітудно-частотна характеристика за ПЧ приймача, що сприймає завади; Δf — частотне рознесення між приймачем, що сприймає завади, і завадним передавачем.

Зауважимо, що формула (6.26) не відрізняється від формули (6.22), хоча нижні межі інтегрування різні.

Із формули (6.26) випливає, що $OCR(\Delta f)$ сильно залежить від ступеня перекриття між смугою пропускання приймача та спектром потужності завадного сигналу. Зі зростанням Δf ступінь такого перекриття зменшується, що приводить до зниження потужності завади, або, відповідно, до вищих значень $OCR(\Delta f)$.

Просторовий чинник цієї методики пов'язаний із розрахунком залежного від відстані загасання сигналу. Тут, у свою чергу, відстежується тісний зв'язок із використовуваною моделлю поширення радіохвиль та зі статистичним розділенням завадного сигналу на вході приймача, що сприймає

завади. Слід використовувати відповідну модель поширення, рекомендовану МСЕ-Р.

Використовувана в цій процедурі модель поширення залежить, природно, від конфігурації системи, а також від використовованого діапазону частот і географічних умов зони обслуговування, а також від ширини смуги системи.

2.2. Критерій завад. Зазвичай він являє собою просте співвідношення, на основі якого можна робити висновок про припустимість тієї чи іншої завади. В ідеалі цей критерій має бути пов'язаний із таким рівнем погіршення якісних характеристик роботи приймача, що сприймає завади, який вважається прийнятним.

Цей підхід, утім, важко реалізується на практиці, зокрема й через те, що існує дуже багато різних систем і технологій, які реагують на завади по-різному. Тому було вибрано загальніший критерій завад, що ґрунтується на захисному відношенні Δ , дБ. Завада вважається прийнятною, якщо виконується така нерівність:

$$P_d - P_i = \Delta, \quad (6.27)$$

де P_d — рівень корисного сигналу, дБВт; P_i — рівень завадного сигналу, дБВт.

Процедура. Процедурі визначення правила ЧТР можна подати так.

Крок 1. Визначити рівень корисного сигналу P_d , дБВт, на вході приймача, що сприймає заваду.

Крок 2. Обчислити результуючий рівень завади на вході приймача, що сприймає заваду, за формулою

$$P_i = P_t + G_r - L_p - OCR(\Delta f), \quad (6.28)$$

де P_t — еквівалентна ізотропно випромінювана потужність (ЕІВП) завадного передавача, дБВт; G_r — коефіцієнт підсилення приймальної антени відносно ізотропної антени, дБ (за випромінюванням); L_p — втрати на трасі поширення; $OCR(\Delta f)$ — коефіцієнт подавлення сигналів поза каналом приймача, якщо рознесення частот Δf відповідає формулі (6.26).

6.10.2. Частотно-територіальне планування

Головний результат розрахунків при частотно-територіальному плануванні — це попередній висновок про придатність і доцільність використання виділюваного частотного ресурсу та отримання даних про потенційно можливі взаємні завади, які можуть виникнути між нововведеною системою радіозв'язку та діючим РЕЗ.

У завданні оцінювання ЕМС під потенційно можливою завадою розуміють заваду, яка може виникнути в результаті відхилення від норм технічних параметрів радіопередавачів, зміни умов ПРХ або в разі впливу якихось інших чинників, імовірність виникнення яких достатньо висока.

Наприклад, база даних щодо потенційно можливих завад може формуватися так. У разі, коли розрахунки ЕМС показують, що невелике перевищення нормативних значень рівнів позасмугових випромінювань або рівнів побічних випромінювань передавача призводить до того, що ЕМС РЕЗ не забезпечується, то цей передавач може бути джерелом потенційно можливої завади.

Потенційно можливу заваду можна визначити також за результатами радіоконтролю. Якщо статистичні дані радіоконтролю показують, що в певного типу обладнання достатньо часто виникають несправності, які вияв-

ляються в підвищеному рівні випромінювань по побічних каналах, то такі випромінювання й можуть являти собою потенційні завади іншим РЕЗ.

Отримані дані, розсортовані за ймовірностями появи завади та ураження нею приймальних пристроїв, дадуть змогу здійснити технічну експертизу при введенні системи зв'язку в експлуатацію та розробити ефективний і цілеспрямований план радіоконтролю на етапі експлуатації. У загальному випадку необхідно мати базу даних потенційно можливих завад із зазначенням оцінок імовірності їх виникнення та збитків, до яких може призвести завада.

Завершальною фазою розробки частотно-територіального планування є технічна експертиза з використанням засобів радіоконтролю із завданням підтвердження результатів планування через вимірювання (засоби радіоконтролю) рівнів електромагнітних випромінювань, значення яких отримано розрахунковим шляхом. Проведення технічної експертизи надзвичайно актуально для регіонів, де працює багато технічних засобів — джерел індустриальних завад у різних діапазонах частот.

Проте технічна експертиза обмежена часовими рамками, що відводяться на виконання необхідних робіт за даною заявкою (відповідним нормативним документам), наприклад один місяць. Вочевидь, у стислі терміни доволі важко не тільки оцінити з достатньою вірогідністю зміни рівня фонових завад залежно від пори року, а й отримати достатній обсяг статистики для оцінювання рівня фонових завад залежно від дня тижня (робочі та вихідні дні) і часу доби. Обмежені часові рамки не дозволяють виявляти рідкісні, але неприпустимі завади.

За таких обставин завада може з'явитися після введення системи зв'язку в експлуатацію, а її усунення потребуватиме великих часових і фінансових витрат. Вірогідність технічної експертизи можна підвищити, скориставшись результатами планового радіоконтролю, здійснюваного протягом достатньо тривалого інтервалу часу.

Нагромадження даних радіоконтролю щодо вільних або малозавантажених частот із різних постів радіоконтролю за тривалий відрізок часу (не менш як рік) у єдиній базі даних і подальша їх обробка дозволять сформувавши проміжну базу даних щодо частотно-територіального та часового ресурсу, потенційно придатного для виділення нововведеним засобам зв'язку. Наявність такої бази підвищить надійність і ефективність призначення частот.

Створення бази даних щодо частотно-територіального ресурсу, придатного для виділення нововведеним засобам зв'язку, можна поділити на три етапи.

На першому етапі на основі територіальних планів частотних присвоєнь (призначень) і даних про загальну тенденцію розвитку телекомунікацій і потреби в тих чи інших системах зв'язку в конкретних регіонах прогнозується попит на частотно-територіальний ресурс. Результатом є перелік частот і географічних зон, на які очікується попит.

На другому етапі на основі переліку, отриманого на першому етапі, формується попередня розрахункова база даних частотно-територіального ресурсу, що задовольняє такі вимоги:

- цей ресурс не використовується експлуатованими РЕЗ;
- розрахункові рівні завад не перевищують припустимих рівнів завад для засобів зв'язку, на які очікується попит;

— використання цього частотно-територіального ресурсу новими системами зв'язку не призведе до перевищення припустимого рівня завад для існуючих систем зв'язку.

На третьому етапі з використанням бази даних здійснюється плановий радіоконтроль ЕМО для оцінювання рівня фонових завад залежно від пори року, дня тижня (робочі дні, вихідні), часу доби, а також виявлення завад від діючих РЕЗ та різноманітних установок, що випромінюють електромагнітні хвилі. Головна вимога до результатів радіоконтролю полягає в забезпеченні вірогідності (яка гарантує, що справжні рівні завад не перевищуватимуть розрахункових значень). Так, на контрольованих частотах має не бути неприпустимих завад, навіть таких, що зрідка з'являються.

За результатами зазначених етапів формується база даних потенційно придатного для використання засобами зв'язку частотно-територіального ресурсу, на який очікується попит: перелік частот і географічних зон, які згідно з розрахунками потенційно придатні для використання, незважаючи на те, що за підсумками радіоконтролю вони виявились «ураженими» завадою. У такому разі службам радіоконтролю та нагляду ставиться завдання виявити причину виникнення підвищеного рівня завад і вжити заходів для їх усунення.

Примітка. На практиці можливі випадки комбінованого просторово-часового рознесення засобів. Це можна проілюструвати на прикладі аналізу завад між двома РЛС, що працюють на одному радіоканалі й мають антени, які здійснюють сканування в азимутальній площині. При скануванні (у часі) за рахунок бічних пелюсток антен можуть створюватися взаємні завади. Останні можуть бути послаблені способом просторового рознесення антен, а ймовірність появи завад у разі збігу основних пелюсток залежить від ширини останніх. Так, при ширині основних пелюсток 10° імовірність появи завад у разі збігу основних пелюсток становить близько 0,08%.

Потреба в аналізі ЕМС постає при здійсненні планування частот для мереж радіозв'язку й радіомовлення на національному і міжнародному рівнях, при присвоєннях частот радіосистемам різного застосування та при проведенні дво- та багатосторонньої координації частот між адміністраціями різних країн.

Із розвитком різноманітних служб радіозв'язку розвивалися та визначалися також процедури аналізу ЕМС. Низка дослідних комісій із радіозв'язку виконала роботу з підготовки доволі докладних процедур, частину з яких наведено в рекомендаціях МСЕ-Р і звітах МККР. Нині існує чимало узгоджених процедур щодо аналізу ЕМС і розроблено вимоги до планування частот для широкого діапазону розподілів частот і служб.

Планування частот передбачає доцільний з погляду ефективності використання радіочастот розподіл заданої множини частотних каналів між станціями, які утворюють або мережу рухомого зв'язку, або систему радіомовлення (телевізійного чи звукового). *Результатом планування є частотно-територіальний план, що забезпечує найбільш повне охоплення зони, де працює розглядувана мережа.* Далі наведено різні методи розробки таких планів.

6.10.3. Лінійне планування частот

Лінійне планування частот було розроблено в Інституті радіомовлення в Гамбурзі (Німеччина). Воно розглядалося на кількох міжнародних конференціях із радіомовлення.

Метод лінійного планування частот можна застосовувати також при плануванні частот у системах рухомого зв'язку, зокрема й у стільникових.

Цей метод базується на таких теоретичних передумовах:

- а) усі передавачі ідентичні, із однією й тією самою потужністю та висотою антени;
- б) діаграми спрямованості антен ізотропні в горизонтальній площині;
- в) втрати на поширенні радіохвиль не залежать від напрямку поширення та частоти.

За таких передумов межа зони обслуговування кожного передавача являє собою коло, радіус якого залежить від типу служби (звукове чи телевізійне радіомовлення, рухомий зв'язок) і законів поширення радіохвиль у розглядуваному діапазоні частот.

У результаті використання цього методу утворюється однорідна мережа передавачів, в якій найближчі передавачі, що працюють у суміщеному каналі, є вузловими точками геометрично правильної сітки на поверхні Землі. У такій сітці поблизу кожного передавача міститься шість передавачів, що працюють у суміщеному каналі.

Правильну сітку з передавачами в разі використання семи частотних каналів наведено на рис. 6.11. Теоретична сітка утворюється сіткою географічних координат у разі використання косокутної системи координат, де кут між осями X і Y становить 60° , а відстані між вузлами мережі по цих осях дорівнюють 1.

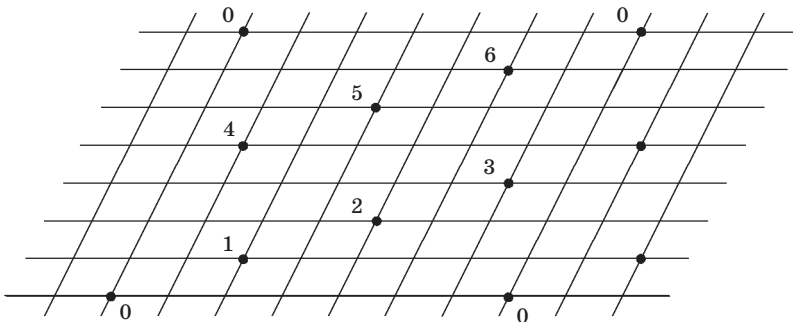


Рис. 6.11. Географічна сітка з мовними передавачами в разі використання кластера із семи каналів

Зображено ромб суміщених каналів із вузловими точками, в яких розміщено передавачі, що використовують канал $i = 0$. Передавачі, найближчі до передавача, розміщеного у вихідній точці, позначаються номерами $1, \dots, 6$.

Ромби суміщених каналів із вузловими точками, де перебуває станція з номером 0, називаються головними ромбами суміщених каналів. Радіостанції з номерами каналів $i = 3, \dots, 6$ розміщуються у вузлових точках усередині ромба суміщених каналів. Розподіл номерів каналів між радіостанціями, що містяться в ромбі, однаковий для всіх ромбів.

Використовуються такі вихідні дані:

R_0 — радіус зони обслуговування, забезпечуваний одним передавачем мережі;

$D_i (i = \overline{0, M})$ — припустима відстань між передавачами, для яких різниця між номерами використовуваних частотних каналів дорівнює i (D_0 — відстань між передавачами суміщеного каналу; D_1 — відстань між сусідніми передавачами і т. ін.).

У результаті пробного планування для правильної мережі передавачів дістають такі параметри:

C — мінімально необхідна кількість частотних каналів;

$C_r > C$ — кількість частотних каналів, призначених для радіостанцій у планованій мережі;

D_H — фактична відстань між передавачами, для яких різниця номерів використуваних частотних каналів дорівнює i . В оптимально планованій мережі умова $D_i < D_H$ має виконуватися для всіх передавачів;

X_i та Y_i — координати вузла мережі (у головному ромбі суміщених каналів), де розміщено радіостанцію, що працює в каналі i .

Значення D_i обчислюються з використанням іншої процедури, яка передбачає, що рівень взаємних завад між зонами обслуговування передавачів, для яких різниця між частотними каналами становить i , має не перевищувати заданого припустимого значення.

Реальні мережі передавачів не мають правильної геометричної форми, наведеної на рис. 6.11, а їхні технічні характеристики не відповідають характеристикам теоретичної мережі. Відхилення від геометрично правильної структури, теоретичних значень потужностей і висоти антен неминуче знижують ефективність частотно-територіального плану. Проте згаданий щойно метод можна використовувати для отримання картини, що демонструє ефективність частотно-територіального плану як функції обмежень, які накладаються на вихідні дані при підготовці плану.

Підготовка частотно-територіального плану, який базується на ідеальному плані, отриманому в результаті використання згаданого щойно методу, має евристичний характер, а тому її не можна легко впорядкувати, що знайшло б відображення у відповідних комп'ютерних алгоритмах і програмах.

Результати згаданого раніше планування частот можна використати таким чином. Сітка з передавачами ідеальної планованої мережі наноситься на карту планованої зони, а частотний канал, призначений для даного вузла в теоретичній сітці, присвоюється місцю, найближчому до вузла сітки, де має розміщуватися передавальна радіостанція. У процесі присвоєння частотних каналів для конкретних місцеположень можна дещо змінити значення потужностей передавачів, висоти антен тощо відносно значень, що беруться з метою планування.

Закінчивши такий розподіл, потрібно перевірити радіус зони обслуговування кожного передавача мережі за допомогою іншої процедури.

У деяких випадках для кожного місцеположення потрібний не один, а K частотних каналів. Цього можна також досягти, скориставшись лінійним плануванням. У даному вузлі можна розподілити частотні канали з номерами $i + BC_r$, де $B = 1$, $(K - 1)$ — це кількість каналів у мережі, планованій на основі лінійних розподілів частотних каналів для випадку, коли в кожному вузлі використовується лише один частотний канал, присвоюваний разом із каналом під номером i .

6.10.4. Планування частот на основі теорії графів

Для планування мережі за цим методом потрібні такі вихідні дані:

а) список базових або радіомовних станцій з їхніми географічними координатами, для яких потрібно здійснити частотні присвоєння;

б) список присвоюваних частотних каналів;

в) таблиця з необхідними відстанями між радіостанціями, рознесеними на задану частоту.

Схему алгоритму планування частот, що містить три процедури, наведено на рис. 6.12.

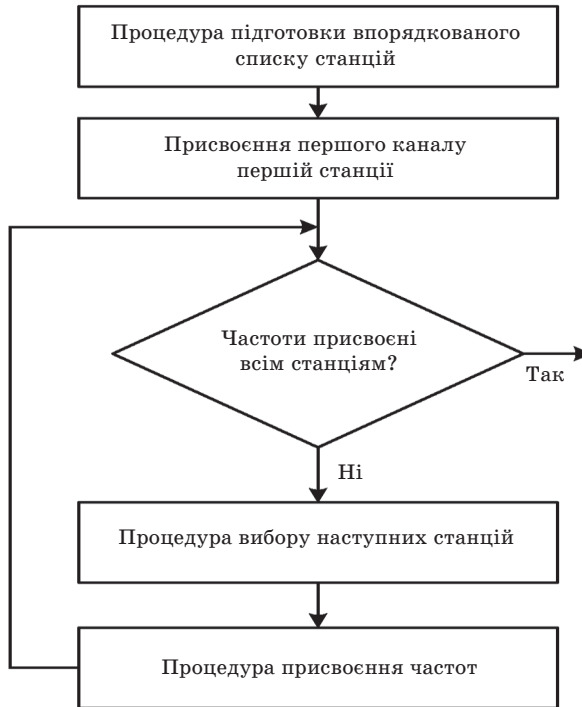


Рис. 6.12. Схеми одного з алгоритмів планування частот

Перша процедура передбачає підготовку регулярного списку радіостанцій, яким має бути призначено частоти. Послідовність розміщення радіостанцій у списку відповідає витратам праці, пов'язаним із призначенням частоти передавачу. Зокрема, витрати праці можна визначити кількістю радіостанцій у межах зони дії завад у суміщеному каналі даної радіостанції.

Чим більше радіостанцій перебуває в зоні дії завад у суміщеному каналі, тим важче призначити частоту даній радіостанції і тим ближче до початку списку розміщується ця станція.

Призначення частот починається з радіостанції, яка очолює список і якій присвоюється перший (нижній) частотний канал.

Для вибору зі списку кожної наступної радіостанції та призначення їй частоти використовується одна з кількох спеціальних процедур. Найпростіша процедура полягає в тому, щоб пріоритет вибору радіостанцій відповідав порядку їх розміщення у списку. Складніші процедури визначають для кожної нової радіостанції номери частотних каналів, які не можна призначити через завади, спричинювані приймачам радіостанціями, яким уже призначено частоти. Для призначення частоти зі списку вибирається радіостанція з найбільшою кількістю непридатних частотних каналів.

Процедура призначення частоти застосовується при виборі станції. Існує кілька процедур такого типу. Найпростіша процедура полягає у призначенні

найнижчої частоти зі списку частотних каналів, для якої задовольняються всі обмеження на відстань між розглядуваною радіостанцією та всіма радіостанціями, які отримали свої частотні присвоєння на попередніх етапах планування частот.

Зазначені щойно процедури послідовно застосовуються до всіх радіостанцій, включених у план.

Зауважимо, що на практиці часто постає проблема з призначенням частотних каналів новим радіостанціям. Ці радіостанції мають бути задіяні в існуючій мережі радіостанцій, для яких здійснено частотні присвоєння. Така проблема, наприклад, типова для телевізійної системи, коли для забезпечення повного охоплення території країни потрібно задіяти низку ретрансляторів малої потужності, що охоплюють невеликі зони обслуговування, де приймання програм телевізійних станцій великої потужності утруднене чи неможливе. Цю конкретну проблему планування частот для телевізійної підсистеми малої потужності можна розв'язати за допомогою методів теорії графів. Приклади їх застосування наведено в [3].

6.10.5. Сітки частотних присвоєнь без завад

Метод розроблено 1989 року в Канаді для сухопутної рухомої служби.

Цей метод, що ґрунтується на застосуванні комп'ютерів, передбачає передусім розгляд виведених рівнянь завад для випадків спільного використання каналу та роботи в сусідніх каналах, зниження чутливості приймача за рахунок сильної завади по сусідньому каналу, а також інтермодуляційних завад у приймачі та передавачі. Будеться сітка великої ємності з урахуванням можливого використання смугових фільтрів.

Фахівцеві з управління використанням спектра лишається розв'язати питання, пов'язані з умовами роботи у суміщеному каналі, тобто розрахувати територіальне рознесення та максимальну кількість повторень каналу при спільному його використанні.

Цей метод виключає розрахунки ЕМС і скорочує кількість розв'язків. Сітки частотних присвоєнь забезпечують ефективніше використання спектра та однакову якість обслуговування. При застосуванні комп'ютерної системи ці сітки можна змінювати для внесення змін до вимог як за простором, так і за часом та використовувати в зонах із різним рельєфом місцевості та густотою населення [3].

Планування частот для стільникового зв'язку. Планування частот для стільникового зв'язку здійснюється як складова частина їх проектування *з урахуванням економічної ефективності різних варіантів створення стільникових мереж (за частотний ресурс необхідно платити!) і умов реалізації заданої якості функціонування.*

У такому разі завдання ускладнюється, оскільки потрібно розв'язати потрібне завдання:

- забезпечити якість функціонування системи в межах зони обслуговування абонентів;
- обрати найбільш ефективний варіант частотно-територіального планування мережі;
- забезпечити умови ЕМС РЕЗ на території «покриття».

Технічне завдання планування частот розв'язується із залученням моделей ПРХ, викладених у підрозд. 2.2.4, як правило, при використанні сучасних *спеціалізованих географічних інформаційних систем (ГІС)*

для конкретної території, що використовують цифрові карти місцевості. Зазвичай потужні ГІС є власністю урядів або урядових відомств. Нині фірми розроблено та випущено в продаж пакети програм вузькоспеціалізованих ГІС.

Узагальнену схему системи частотно-територіального планування стільникової мережі з використанням ГІС [13] наведено на рис. 6.13.

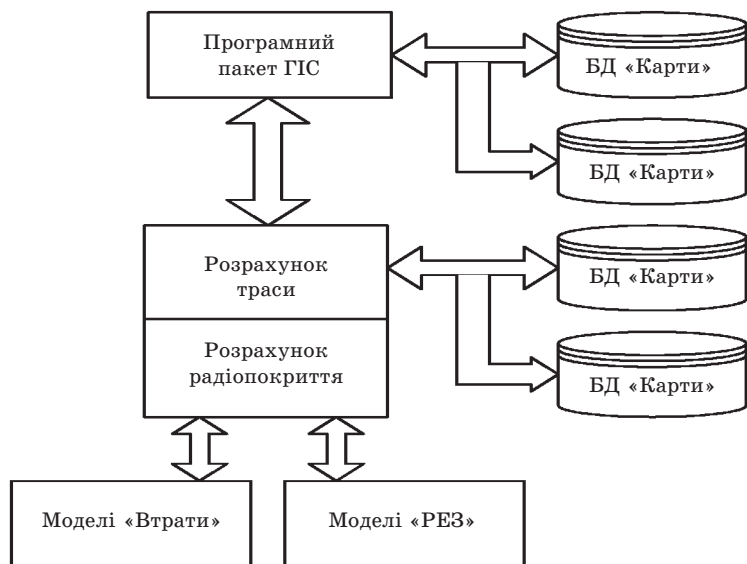


Рис. 6.13. Узагальнена схема системи частотно-територіального планування стільникової мережі з використанням ГІС

Система дає змогу отримати дані про внутрішньомережну ЕМО, на основі яких можна побудувати або оптимізувати частотний план мережі. Для цього розраховують:

- а) зони обслуговування базової станції (із заданим рівнем поля на межі її та із заданою якістю обслуговування абонентів);
- б) зони покриття базової станції (де рівень випромінювання не нижчий від заданого, але при цьому не гарантується можливість радіозв'язку по всій зоні покриття).

Зона покриття збігається із зоною обслуговування за рівності випромінюваних потужностей абонентської та базової станцій. Якщо потужність абонентської станції менша за потужність базової станції, то зона обслуговування буде меншою від зони покриття.

У цьому разі територія між зонами покриття та обслуговування являтиме собою зону можливих завад. Дані щодо рівнів сигналів та завад усередині зон обслуговування та покриття використовуються для аналізу завдання ЕМС, зокрема коли йдеться про реалізацію алгоритмів розподілу (призначення, перерозподілу) частот і адаптації за потужністю.

Іншими словами, частотно-територіальне планування передбачає розрахунок не лише рівня можливих радіозавад, а й рівня радіосигналу, достатнього для забезпечення заданої якості функціонування мережі. Нагадаємо, що загальний частотний ресурс для стільникових систем, який підлягає плануванню, визначається мережним трафіком у годину найбільшого навантаження.

Насамкінець зазначимо, що Бюро радіозв'язку та адміністрації різних країн розробили багато різноманітних комп'ютерних програм аналізу ЕМС для різних служб (телевізійне та ДВЧ звукове радіомовлення, сухопутна рухома та фіксована служби тощо), які працюють у різних діапазонах частот.

Пакет інформаційних і топографічних баз даних, система управління базами даних та комп'ютерні програми утворюють автоматичну систему управління використанням спектра, яка дозволяє перевіряти заявки на використання частот та проводити опитування, що стосуються реєстрації радіостанцій, які працюють, отримувати статистичну інформацію про щільність таких радіостанцій у різних зонах країни, в окремих смугах частот тощо.

6.11. Ефективність використання радіочастотного ресурсу

Поняття про ефективність використання РЧР визначено в Рекомендації ITU-R SM.1046-1 [140], що вже згадувалася в підрозд. 6.6. Далі цитується залишок у Додатку 1 (п. 2, 3, 4).

2. Ефективність використання спектра (*SUE*). Згідно з визначенням, ефективність використання спектра *SUE* системою радіозв'язку (стисло-спектральна ефективність) можна подати так:

$$M/U = M/(B \times S \times T), \quad (6.29)$$

де M — обсяг переданої інформації.

3. Відносна спектральна ефективність (*RSE*). Концепцію відносної спектральної ефективності *RSE* можна використовувати для порівняння спектральної ефективності двох подібних типів радіосистем, що забезпечують одну й ту саму службу.

Відносна спектральна ефективність визначається як відношення двох спектральних ефективностей, одна з яких може бути ефективністю системи, узятій для порівняння за стандарт. Тоді

$$RSE = SUE_a / SUE_{std} \quad (6.30)$$

де *RSE* — відносна спектральна ефективність; SUE_{std} — ефективність використання спектра *SUE* «стандартної» системи; SUE_a — ефективність використання спектра *SUE* реальної системи.

Найбільш імовірними варіантами стандартної системи можуть бути:

- теоретично найбільш ефективна система;
- зрозуміла й легко визначувана система;
- система, яка широко застосовується, або інакше — *фактичний* промисловий стандарт.

Значення *RSE* подається додатним числом (від нуля до нескінченності). Якщо за стандартну систему взято теоретично найбільш ефективну систему, то значення *RSE* належить проміжку від нуля до одиниці.

Наприклад, теоретично найбільш ефективну систему можна схарактеризувати згідно з принципами теорії інформації.

Пропускна здатність каналу зв'язку, по якому абонент або слухач отримує корисне повідомлення, визначається за формулою:

$$C_0 = F_0 \log_2 (1 + p_0),$$

де F_0 — ширина смуги передаваного повідомлення; p_0 — відношення сигнал/шум на виході приймача. Якщо відношення сигнал/шум на вході приймача

дорівнює захисному відношенню p_3 , а смуга частот каналу, по якому передаються сигнали, дорівнює F_m , то пропускна здатність $C_p = F_m \log_2(1 + p_3)$. Вона має перевищувати або принаймні дорівнювати пропускній здатності каналу, по якому абонент отримує передаване для нього повідомлення. Отже, мінімальне можливе значення захисного відношення p_3 , при якому абонент отримує повідомлення з відношенням сигнал/шум, що дорівнює p_0 , визначається за формулою:

$$P_3 = (1 + P_0)^{\frac{F_m}{F_0}} - 1. \quad (6.31)$$

Головною перевагою безпосереднього обчислення відносної спектральної ефективності (*RSE*) є те, що її часто легше обчислити, ніж розраховувати значення ефективності використання спектра (*SUE*). Оскільки системи забезпечують одну й ту саму службу, то вони мають багато спільних факторів (включаючи, навіть фізичні компоненти). У результаті багато факторів «скорочуються» при розрахунках раніше, ніж вони будуть обчислені насправді. Нерідко це значно знижує складність розрахунків. Деякі приклади розрахунку *RSE* наведено в Додатку 2 (тут не наводяться) та у [3].

4. Порівняння спектральних ефективностей. Значення *SUE* можна розрахувати для деяких різних систем і, безперечно, можна порівняти для визначення відносної ефективності систем. Проте такі порівняння потрібно проводити обережно. Наприклад, *SUE*, розраховані для сухопутної рухомої радіосистеми та для радіолокаційної системи, істотно різняться. Швидкість передавання інформації, передавачі та приймачі в цих двох системах настільки різні, що дві *SUE* несумісні. Намагатися порівняти їх — справа марна. Отже, порівняння спектральної ефективності можливе лише між подібними системами, що забезпечують ідентичні служби радіозв'язку. Порівняння спектральної ефективності або використання однієї тієї самої системи протягом певного часу може мати сенс для спостереження — чи є поліпшення в певній випромінюваній області.

Варто також зауважити, що хоча спектральна ефективність є важливим фактором, оскільки вона дозволяє розміщувати в радіочастотному спектрі максимальну кількість служб, усе ж вона не повинна бути єдиним фактором, що підлягає розгляду. При виборі технології або системи мають враховуватися й інші фактори, такі як вартість, доступність обладнання, його сумісність із наявним устаткуванням і використовуваними методами, надійність системи та її експлуатаційні особливості.

Отже, для оцінювання використання спектра та його ефективності необхідна неосяжна кількість даних, починаючи з технічних характеристик і місцезнаходження всіх передавачів і приймачів у межах частотної та географічної областей розрахунків. При цьому передбачається необхідність наявності докладних і оновлюваних баз даних щодо управління використанням частот.

Окрім того, може знадобитися й додаткова інформація та додаткові моделі (наприклад, моделі необхідного рівня сигналу та відношення сигнал/завада для еталонної та діючих систем у смузі частот). І, зрештою, для обчислення втрат на трасі для КС та завади можуть стати потрібними достатньо реалістичні моделі поширення радіохвиль. Залежно від необхідної точності моделі ПРХ для її підтримки можуть бути корисними бази даних про місцевість і клімат. Ці дані потрібні для будь-якої кліматичної зони, яку буде вибрано при проведенні розрахунків.

6.12. Міра ефективності використання ресурсу (ЕВР)

Далі подається коментар п. 2 і 3 Доповнення до Рекомендації ITU-R SM.1046-1 (див. підрозд. 6.6).

Питання ефективності використання РЧР слід вважати важливим, оскільки спектр являє собою обмежений ресурс, який має чималу економічну й соціальну цінність, причому потреби в ньому невпинно зростають.

Перш ніж розглядати міру ефективності РЧР, зауважимо щодо ефективності використання ресурсу таке:

а) вона може оцінюватися лише за умови забезпечення ЕМС застосовуваних технічних засобів;

б) визначається сукупністю заходів, спрямованих на найкращі умови користування цим ресурсом якомога більшої кількості користувачів;

в) має виражатися числовим показником, що дозволяє порівнювати результати.

Останніми роками з'явилося багато радіотехнологій, на базі яких вдалося значно підвищити ефект використання спектра, що посприяло задоволенню дедалі зростаючих потреб у РЧР. Проте щоб скористатися ефективнішими методами, необхідно мати їх, а також можливість оцінювати ефективність даної системи порівняно з іншою.

Кожна радіослужба характеризується однотипністю застосовуваних засобів і спільністю діапазону частот, що певною мірою полегшує визначення показника ефективності використання РЧР. Однак на практиці визначення цього показника ускладнюється через те, що він має містити *числові значення величин*, які характеризують ефективність не лише даної радіослужби, а й різних служб.

Оскільки засоби кожної радіослужби різняться за призначенням, видом модуляції, характером і обсягом інформації, типом створюваних завад і за багатьма іншими характеристиками, то дуже важко запропонувати узагальнений (на всі служби) показник.

Отже, порівняння ефективності використання спектра можливе лише між системами одного й того самого типу та в межах конкретного діапазону частот. Було б корисно здійснювати порівняння ефективності використання спектра або використання однієї й тієї самої системи в часі для оцінювання поліпшення в конкретній області, що є предметом вивчення.

І хоча ефективність використання спектра є важливим фактором, який дає змогу отримувати від радіочастотного спектра максимальну «віддачу» для обслуговування, усе ж це не єдиний фактор, який потрібно враховувати. До інших факторів, які потрібно брати до уваги при виборі технології чи системи, належать вартість, наявність апаратури, сумісність із наявним обладнанням та застосовуваними методами, надійність системи та питання експлуатації.

Згідно з (6.29) ефективність використання ресурсу (ЕВР) визначається як відношення кількості переданої інформації до обсягу використовуваного спектра:

$$M/U = M/(B \times S \times T).$$

Частіше застосовується спрощений варіант:

$$\text{ЕВП} = M/U = M/(B \times S).$$

Оскільки мета використання спектра полягає в передаванні інформації, то ефективність використання РЧР є технічною мірою того, наскільки ефективно будь-хто використовує цей ресурс.

Вираз для ефективності використання спектра являє собою *загальну концептуальну формулу*, яку необхідно доповнити багатьма деталями, перш ніж її можна буде застосувати для розв'язування конкретних завдань.

Для низки систем значення передаваної інформації можна подати чисельно в бодах, мегабайтах за секунду тощо. Важче схарактеризувати швидкість передавання інформації у звуковому або телевізійному каналі і ще важче дати оцінку системам радіолокації. Чи є відсутність літака на екрані радіолокатора повідомленням із такою самою кількістю інформації, що й за його наявності? Скільки інформації містить попередження про повінь за відсутності самої повені? Ці питання викликають певні труднощі, коли йдеться про присвоєння числового значення кількості передаваної інформації.

Як альтернативний варіант можна розглядати подання відповіді у вигляді кількості одиниць трафіку (наприклад, ерлангів) звукових каналів, ТБ каналів або радіолокаційних каналів на одиницю використовуваного спектра.

Вочевидь, міри ефективності використання спектра для різних типів систем чи служб будуть різними. Наприклад, спектральний простір U в рівнянні (6.28) сильно відрізняється для системи зв'язку пункту з пунктом (фіксована служба), супутникової системи та системи сухопутного рухомого зв'язку. Порівняння ЕВР різних систем втрачає сенс через відмінність систем відліку. Однак рівняння (6.29) можна модифікувати *стосовно конкретного типу системи* та використовувати для порівняння в межах систем того самого типу.

Так, знаходить застосування лінійний критерій енергетичного завантаження смуг частот, що базується на оцінюванні сумарної потужності передавачів, використовуваних радіолінією (наприклад, радіорелейною) для передавання необхідного обсягу інформації:

$$\text{ЕВР}_{\text{лін}} = \Delta f \sum_{i=1}^N (P_i G_i) / (Mr), \quad (6.32)$$

де Δf — займана смуга частот; N — кількість передавальних пристроїв на лінії; P_i , G_i — відповідно потужність і коефіцієнт підсилення антени i -го передавача; r — довжина лінії.

Аналогічний критерій для мережі радіорелейних ліній (РРЛ) набирає вигляду:

$$\text{ЕВР}_{\text{мережі}} = \Delta f d \sum_{k=1}^d \sum_{j=1}^{M_{jk}} \sum_{i=1}^{N_{ik}} (P_i G_i) / (MS), \quad (6.33)$$

де d — кількість частотних діапазонів, необхідних для побудови мережі РРЛ із заданою щільністю на території площею S (тут для наземної служби об'єм простору замінено площею S); M_{jk} і N_{ik} — відповідно кількість ліній у мережі та кількість станцій j -ї лінії, які працюють у k -му частотному діапазоні (смузі частот).

Фактично обидва ці критерії є різновидами критерію (6.29), оскільки зміна сумарної потужності передавачів на лінії або в мережі (а також коефіцієнтів підсилення антен) призводить до аналогічної зміни сумарного

частотно-просторового об'єму, необхідного для передавання інформації. І все ж критерії (6.32) та (6.33) менш абстрактні, ніж (6.29), і більшою мірою враховують організаційні аспекти частотного планування тієї чи іншої служби.

Покладені на служби завдання можуть виконуватися за допомогою систем, побудованих за різними принципами. Системи використовують різні механізми поширення радіохвиль. Наприклад, РРЛ можуть бути спроектовані із застосуванням потужних передавачів із максимально можливими відстанями між ретрансляторами або із застосуванням малопотужних передавачів зі значно меншими відстанями.

6.13. Якість радіочастотного ресурсу

Ефективність використання РЧР можна розрахувати *на основі реального трафіку системи*. Це дає безпосередню міру кількості інформації, що передається в даному середовищі.

Поняття показника якості (ПЯ) РЧР забезпечує міру ефективності використання спектра радіосистемою або службою в даній смузі частот на даній території з урахуванням *займаного ресурсу, цінності ресурсу та забороненого ресурсу*. Спочатку уточнимо термінологію.

Згідно з Рекомендацією МСЕ-Р SM. 1046-1 [140] використання ресурсу вимірюється кількістю **займаних одиниць ресурсу**, Гц·с·м³.

Займаний ресурс — це кількість одиниць ресурсу, що її потребує радіосистема для підтримання радіозв'язку між різними станціями, що працюють у межах зони охоплення системи. Подається, як добуток зони охоплення, загального займаного часу *в період найбільшого навантаження* та ширини займаної смуги радіоканалу.

Заборонений ресурс — це кількість одиниць ресурсу, яку заборонено використовувати іншим користувачам унаслідок експлуатації даної радіосистеми. При розрахунку забороненого ресурсу необхідно враховувати вплив усіх завад, таких як інтермодуляційні, завади по сусідньому та суміщеному каналах, блокувальні завади тощо, а також район і час дії завад.

Об'єм ресурсу — це міра потреби в радіочастотному ресурсі для даної служби в межах певної географічної зони.

Якість використання ресурсу є мірою займаного спектра відносно забороненого спектра у смузі частот і географічному районі.

Якість ресурсу може оцінюватися **показником цінності ресурсу (Г)** та **показником якості ресурсу (ПЯ РЧР)**.

У рамках конкретної служби потреби в НХН розподіляються по географічній зоні нерівномірно. Наприклад, у сухопутній рухомій службі потреби сконцентровано в міських зонах, а максимальні потреби припадають на центральні частини великих міст. Відповідно, РЧР становить вищу цінність у зонах із великими потребами порівняно із зонами з малими потребами. РЧР не має цінності там, де в ньому немає потреби. Заборонений РЧР має більше значення в зонах з високою потребою в ресурсі, ніж у малонаселених районах.

У міських зонах не завжди можна встановити справжню потребу в певних обсягах РЧР. Намір мати розглядуваний обсяг РЧР може не трансформуватися в заяву про отримання ліцензії. І все ж [3] рекомендує, що кількість одиниць займаного ресурсу можна взяти як перше наближення *при оцінюванні відносної потреби в ресурсі в деякій зоні*.

Для розуміння змісту показника цінності ресурсу розглянемо деякий географічний район, охоплюваний об'ємом U . Поділимо об'єм U на кубики однакового розміру. Потреби в кожному кубіку різні й подаються кількістю одиниць займаного РЧР у кожному кубіку (добуток часу, смуги частот та об'єму). Чим вищі потреби в кубіку, тим вищий показник цінності ресурсу. Цю цінність можна виразити математичною величиною Γ , числове значення якої змінюється від 0,0 до 1,0, причому більше число характеризує вищу цінність спектра. Математично показник $\Gamma(n)$ цінності спектра в n -му кубіку прямо пропорційний кількості одиниць спектра $\beta_t(n)$, запитуваних у кубіку:

$$\Gamma(n) = \beta_t(n) / \beta_{\text{заг}},$$

де $\beta_{\text{заг}}$ — загальні потреби в об'ємі U .

Показник якості ресурсу можна розглядати як міру ефективності управління використанням РЧР у даній службі в межах деякої географічної зони. ПЯ РЧР застосовується як відносна міра ефективності використання спектра в одній і тій самій радіослужбі, а не для порівняння різних радіослужб.

Показник якості ресурсу подається відношенням загального зваженого займаного ресурсу до сумарного зваженого займаного разом із забороненим ресурсом:

$$\text{ПЯ РЧР} = \left\{ \frac{\sum \Gamma(n) \beta_t(n)}{\sum \Gamma(n) [\beta_t(n) + D_t(n)]} \right\},$$

де $\Gamma(n)$ і $\beta_t(n)$ було визначено раніше, а $D_t(n)$ — кількість одиниць забороненого ресурсу в кубі n на доповнення до одиниць ресурсу, використовуваних для зв'язку.

Включення в розрахунки ПЯ РЧР показника Γ цінності спектра відбиває відносний розподіл потреб у спектрі в розглядуваній зоні. Отже, ця модель може бути прийнятним показником ступеня ефективності управління використанням ресурсу для задоволення потреб і може застосовуватися при оцінюванні використання ресурсу.

ПЯ РЧР може використовуватися для абсолютних і порівнювальних вимірювань у рамках конкретної служби. Абсолютні вимірювання використовуються, коли відомі усі параметри системи. Мета абсолютних вимірювань полягає у періодичному оцінюванні ступеню ефективності управління використанням ресурсу в певній зоні та в рамках конкретної служби.

При порівняльних вимірюваннях стосовно конкретної служби можна порівнювати різні системи чи методи, наприклад метод розширення спектра та МДЧР/ЧМ, цифрову та аналогову модуляцію тощо.

Використовувати показник якості РЧР для порівняння методу, застосовуваного в різних службах, неможливо, оскільки може йтися про різні моделі для цих служб.

6.14. Відносна ефективність використання РЧР

Значення ЕВР для низки різних систем можна обчислити й реально порівняти з метою отримання *відносної ефективності систем*. Таке порівняння слід, проте, виконувати обережно. Наприклад, значення ЕВР, обчислені для системи сухопутного рухомого зв'язку та радіолокаційної системи, істотно різняться. Приймачі та передавачі цих двох систем мають настільки різні швидкості передавання інформації, що відповідні два

значення ЕВР просто несумісні. А проте, порівнювати ефективність систем, що забезпечують одну й ту саму службу, цілком правомірно.

Далі викладено концепцію оцінювання відносної ефективності використання ресурсу (ВЕВР).

Відносна ефективність використання спектра визначається як відношення двох значень ЕВР, одне з яких може бути ефективністю системи, використовуваної при порівнянні як еталон, а друге — ефективністю використання спектра (ресурсу) існуючої системи:

$$ВЕВР = EBP / EBP_{\text{еталон}}$$

Імовірні претенденти на роль еталонної системи такі:

- найбільш ефективна практично (теоретично) здійснена система;
- система, яку можна легко визначити й зрозуміти (пояснити);
- широко використовувана система, тобто така, що фактично являє собою промисловий еталон.

Якщо за еталонну беруть ідеальну або найефективнішу систему, то значення ВЕВР зазвичай змінюється від нуля до одиниці (див. п. 3 Доповнення 1 до Рекомендації ITU-R SM.1046-1 [140]).

Концепція ВЕВР може ефективно використовуватися для порівняння двох систем, що забезпечують одну й ту саму службу, оскільки тоді можна вибрати сумірні параметри. Завдяки цьому відношення двох обчислених значень ЕВР може бути кориснішим, ніж числові значення обох ефективностей. Відношення двох значень ЕВР покаже, наприклад, що ефективність системи А (яка використовує лише половину спектрального простору або передає вдвічі більший обсяг інформації) удвічі вища за ефективність від системи В.

Основна перевага безпосереднього розрахунку ВЕВР полягає в тому, що нерідко виконати його набагато простіше, аніж обчислити значення ЕВР. Оскільки системи забезпечують одну й ту саму службу, то вони зазвичай мають багато спільних факторів (іноді навіть і технічних компонентів). Це означає, що чимало факторів можна не брати до уваги доти, доки не з'явиться справжня необхідність у їх обчисленні. Іноді це дасть змогу істотно спростити розрахунки.

Наприклад, у працях М. А. Биховського та А. П. Павлюка для мереж радіозв'язку й радіомовлення запропоновано оптимізаційний критерій ЕВР, що ґрунтується на порівнянні смуг частот, потрібних для передавання заданого обсягу інформації в реальній системі радіозв'язку та «ідеалізованій радіосистемі», під якою розуміють регулярну (або еквівалентну їй) мережу з використанням ідеальних (за Шенноном) систем зв'язку.

Згідно з (6.33), ідеалізована радіосистема характеризується найбільшим досяжним виграшем за відношеннями сигнал/завада (С/З) на виході $(C/Z)_{\text{вих}}$ та на вході $(C/Z)_{\text{вх}}$ приймача за рахунок розширення смуги частот модульованого сигналу $\Delta F_{\text{сигн}} = F_m$ порівняно зі смугою частот модулюючого сигналу $\Delta F_{\text{ідеал}} = F_0$:

$$(C/Z)_{\text{вих}} = [1 + (C/Z)_{\text{вих}}]^{\Delta F_{\text{ідеал}} / \Delta F_{\text{сигн}}} - 1. \quad (6.34)$$

Критерій (6.34) дає змогу оцінити ЕВР даної мережі порівняно з «ідеальною» мережею вибором найкращих видів і параметрів модуляції, характеристик антен (включаючи й поляризацію) тощо, тобто здійснити таку оптимізацію, за якої радіосистема найбільшою мірою наближається до потенційної межі в сенсі ЕВР. При цьому очевидним стає програш у використанні

станні смуги частот конкретною лінією або мережею відносно того мінімуму, який забезпечується ідеалізованою системою.

Цей критерій можна розглядати як конкретизацію частотно-просторового (6.29).

Існує й економічний критерій ЕВР, за яким порівнюються радіосистеми: та система забезпечує кращу ЕВР, в якій вищі економічні показники.

Проте оскільки коефіцієнт ВЕВР зводиться до відношення одного й того самого параметра, він не обов'язково має відбивати картину в цілому. Наприклад, використання на мікрохвильових лініях фіксованої служби багатопозиційної цифрової модуляції з великою кількістю рівнів (КАМ-256) дозволяє значно звузити смугу частот порівняно з модуляцією при меншій кількості рівнів (КАМ-16). У разі порівняння необхідної ширини смуги частот можна було б припустити, що система КАМ-256 приблизно в 4 рази ефективніша за систему КАМ-16. Проте тонший аналіз показує, що для системи КАМ-256 необхідні більші значення відношень сигнал/шум і можуть припускатися менші завади (або потрібний значно вищий рівень сигналу при заданому рівні завад): насправді система КАМ-256 менш ефективна ніж система КАМ-16.

Як уже зазначалося, необхідно оцінювати всі фактори, які можуть знадобитися при розрахунку ВЕВР, а не базувати ВЕВР лише на одному очевидному факторі. Може бути, що важливим стане обчислення ВЕВР для всієї смуги частот, а не для однієї лінії чи однієї системи.

Приклад ВЕВР для сухопутної рухомої служби [3]. У Канаді було розроблено близьку до оптимальної стратегію частотних присвоєнь для диспетчерської сухопутної рухомої служби. Ці системи (транкінгові) складаються з рухомих станцій і пов'язаних із ними базових, що працюють у межах певної системи обслуговування. Залежно від кількості рухомих станцій диспетчерська служба може використовувати свої частоти разом з іншими користувачами.

Згідно з близькою до оптимальної стратегії частотних присвоєнь, яка базується на встановлених критеріях завад, присвоюється максимальна кількість частот у певних місцях даної географічної зони. Стратегія частотних присвоєнь не лише враховує розподіл потреб у трафіку, а й забезпечує розумну гнучкість розміщення станцій (тобто частотних присвоєнь).

Ця модель ґрунтується на таких припущеннях:

- майбутні потреби, можливо, будуть взаємозв'язані з існуючим демографічним розподілом трафіку;
- для цілей аналізу географічна зона, яка становить інтерес, поділяється на сітку з однакових квадратів (знову розглядається випадок «плоского» об'єму географічного простору), розмір яких визначається критеріями завад, використовуваними в розглядуваній смузі частот;
- використовувана одиниця часу безпосередньо пов'язана із середнім навантаженням у години найбільшого навантаження трафіку;
- за одиницю частоти береться ширина смуги частот одного радіоканалу, використовуваного в оцінюваній смузі частот;
- потреба в одиницях ресурсу $\beta_i(n)$ у межах квадрата безпосередньо пов'язана із загальною зайнятістю $O_i(n)$ у цьому квадраті у ерлангах: $\beta_i(n) = CO_i(n)$; кількість одиниць спектра, затребуваних у i -му каналі n -го квадрата, визначається приблизно як $\beta_i(n, i) = CO_i(n, i)$, де C — константа, що визначається розміром сітки квадратів і шириною смуги каналу;

● для служб громадської безпеки та для інших служб використовувалися різні коефіцієнти завантаження.

У разі спільного використання ресурсу кількома системами робилися інші припущення.

Модель, яку було розроблено й застосовано до сухопутної рухомої радіослужби. Вона виходить із концепції, що конкретна географічна зона має певну цінність ресурсу, що відповідає загальній потребі у трафіку в зоні обслуговування.

Ця концепція вказує також на те, що завдяки тривимірному характеру ресурсу (просторовий об'єм, час, ширина смуги частот) займані радіосистемою одиниці РЧР призведуть до заборони «одиночних кубиків» для інших користувачів. Розмір забороненого ресурсу визначається рівнем завад, які сприймаються іншими системами під час роботи поблизу радіосистеми.

У моделі використовується фактичний розподіл потреб у вигляді середнього завантаження каналу в годину найбільшого навантаження. На підставі описаної щойно моделі було зроблено такі спостереження.

А. На якість використання РЧР основний вплив має навантаження трафіку в центральній частині міста. Ефективність управління використанням РЧР може вимірюватися максимальною кількістю вільних від завад частот (каналів радіозв'язку), наявних у центрах основних міст із найбільш напруженим трафіком.

В. При присвоєнні частот за межами міських центрів із напруженим трафіком зв'язку слід виявляти обережність, аби уникнути присвоєнь, призначених для центру міста.

С. У нових або новопланованих смугах частот можна застосувати близьку до оптимальної стратегію присвоєнь, аби забезпечити максимальну кількість вільних від завад частотних присвоєнь.

Д. Близька до оптимальної стратегія присвоєнь може привести до вищої якості використання спектра й водночас спростити процес присвоєнь завдяки попередньо вибраним вільним від завад частотам у розглядуваній зоні.

Підіб'ємо підсумки викладеного. Наведені раніше описи моделей використання ресурсу, ефективності використання ресурсу (ЕВР) та відносної ефективності використання ресурсу (ВЕВР) слугують відправною точкою для обчислень, які приводять зрештою до порівняння ефективності використання ресурсу (ВЕВР) двох систем у одній і тій самій службі.

Розглянуті критерії оцінювання ефективності використання РЧР дозволяють здійснити оцінювання кількісних показників із різним ступенем деталізації, яка відповідає різним етапам частотного планування (від найбільш загальних проблем розподілу частот між радіослужбами в цілому до окремих проблем складання частотно-територіальних планів у межах конкретних радіослужб).

Порівняння різних критеріїв ЕВР демонструє їхню багатозначність. Зокрема, можливо й необхідно підвищувати ЕВР різних систем фіксованої радіослужби (раніше розглядалася мережа радіорелейних ліній на основі оптимізаційного критерію (6.7)), хоча з позицій загального критерію вся ця служба використовує частотний ресурс нераціонально (її завдання можна розв'язати іншими засобами, наприклад кабельними).

На основі викладеного можна запропонувати низку заходів, які в разі їх упровадження в рамках обмежених технічних і, особливо, фінансових

ресурсів допоможуть реалізувати наявний потенціал підвищення ефективності використання спектра (див. також підрозд. 1.2):

1) поступово обмежувати використання РЧР службами, завдання яких можуть розв'язуватися альтернативними способами, і здійснювати перерозподіл смуг частот на користь служб, завдання яких неможливо виконати інакше, аніж лише за допомогою радіосистем;

2) оптимізувати (при проведенні нових розробок і при модернізації радіосистем) параметри РЕЗ, які визначають розміри частотно-просторових об'ємів, займаних радіолініями, із метою скорочення цих об'ємів, що потенційно полегшує спільне використання смуг частот різними службами і проведення робіт із територіального «ущільнення мереж»; зокрема, застосовувати такі види й параметри модуляції, за яких ефективність використання РЧР максимально наближається до тієї потенційної межі, яка є досяжною у відповідній «еталонній» радіосистемі;

3) із метою забезпечення спільного використання частот застосовувати по можливості верхні діапазони частот (30 ГГц і вищі), які використовуються недостатньо;

4) із погляду ефективності використання спектра застосовувати такі конфігурації мереж служб радіозв'язку й радіомовлення, що якомога більше наближаються до оптимальних мереж;

5) поступово обмежувати з цією самою метою використання радіосистем, що працюють при великих помножувачах послаблення енергії радіохвиль (системи тропосферного, іоносферного розсіювання та інші види горизонтних систем), в яких велике послаблення радіохвиль на трасі поширення компенсується підвищенням потужностей передавачів і чутливостей радіоприймачів, що призводить до істотного збільшення відповідних частотно-просторових об'ємів;

6) здійснювати планування мереж на основі врахування номінальних характеристик РЕЗ (зокрема, скорочувати необґрунтовані «запаси» потужності передавачів і, отже, напруженості полів сигналів у точках приймання; застосовувати методи адаптації тощо).

Існує хибна думка про те, що ефективність використання спектра можна підвищити завдяки спільному використанню смуги частот РЕЗ різних служб. Проте підвищення загальної ефективності використання смуги частот за рахунок уведення в неї РЕЗ іншої служби можна досягти лише в тому разі, коли перша служба з тих чи інших причин не використовує об'єму частотно-просторового ресурсу в межах даної смуги частот, тобто існує резерв (за умовами ЕМС) для надання його іншій службі. А якщо весь об'єм ресурсу повністю використовується РЕЗ однієї служби і немає жодного резерву для його надання іншій службі, то й ефективність використання РЧР за таких умов не можна підвищити.

ЗАДАЧІ

Задача 1. Визначити необхідне послаблення завади сусіднього каналу радіостанції сухопутної рухомої служби (діапазон 30...470 МГц), яка працює сигналами класу 16КОФ3Е на сусідньому каналі на частоті 420,100 МГц і задовольняє стандартні вимоги:

- потужність завадного передавача $P_{\text{пер.з}} = 30$ Вт;
- припустима потужність випромінювання передавача в сусідньому каналі $\Delta P_{\text{с.к.прип}} \leq 10$ мкВт (це задовольняє вимогу $43 + 10\lg P$ або 70 дБс, наведену у відповідній Рекомендації МСЕ);
- гранична чутливість приймача — 137 дБВт;
- вхідний опір приймача — 50 Ом;
- середня частота основного каналу — 420 МГц;
- відстань між радіостанціями — 5 км.

Вважати, що коефіцієнти підсилення передавальної та приймальних антен дорівнюють 0 дБ.

Крок сітки частот — 25 кГц.

Для забезпечення доброї якості відношення сигнал/(шум+завада) на вході приймача має бути не менш як 26 дБ, тобто

$$\frac{P_c}{P_{\text{ш}} + P_z} \geq 26 \text{ дБ.}$$

Розв'язання. На вхід приймача від завадної станції надходять два сигнали-завади:

- Сигнал частотою $f_{\text{п1}} = f_{\text{с.к}}^3 = 410$ МГц, яка є для приймача середньою частотою основного каналу. Цей сигнал не зазнає додаткового загасання у тракці радіочастоти приймача.

- Сигнал частотою $f_{\text{п2}} = f_{\text{с.к}}^3 = 410,025$ МГц, яка є для приймача середньою частотою сусіднього каналу. Цей сигнал зазнає у тракці радіоприймача додаткового послаблення $D_{\text{с.к}}$, значення якого й потрібно знайти.

Проаналізуємо для цих двох сигналів енергетику радіоліній *радіостанція* f_c — *радіостанція* f_z :

- Для сигналу частотою $f_{\text{п1}} = f_{\text{с.к}}^3 = f_c$ визначимо потужність, дБВт, на вході приймача

$$P_{\text{п1}} = \Delta P_{\text{с.к.прип}} + 0 \text{ дБ} + 0 \text{ дБ} - L_0,$$

де $L_0 = 20\lg(4\pi R/\lambda) = 20\lg 85909 = 98,6$ (дБ).

Остаточо маємо:

$$P_{\text{п1}} = -50 \text{ дБВт} - 98,6 \text{ дБ} = -148,6 \text{ дБВт.}$$

- Для сигналу частотою $f_{\text{п2}} = f_{\text{с.к}}^3$ визначимо потужність, дБВт, на вході приймача

$$P_{\text{п2}} = P_{\text{пер}} + 0 \text{ дБ} + 0 \text{ дБ} - L_0 - D_{\text{с.к}},$$

звідки визначаємо шукане значення $D_{\text{с.к}}$, дБ:

$$D_{\text{с.к}} = P_{\text{пер}} - L_0 - P_{\text{п2}}.$$

Значення $P_{п2}$ знаходимо, беручи до уваги співвідношення

$$\frac{P_c}{P_{ш} + P_3} \geq 26 \text{ дБ.}$$

Отже, маємо:

$$P_{п2} \leq -137 \text{ дБВт} - 26 \text{ дБ} = -163 \text{ дБВт.}$$

Остаточо знаходимо:

$$D_{с.к} = 15 \text{ дБВт} - 98,6 \text{ дБВт} - (-163) \text{ дБВт} = 79,4 \text{ дБ.}$$

В і д п о в і д ь. Необхідне послаблення завади сусіднього каналу має бути не менш як 79,4 дБ.

Примітка. Для послаблення завади $f_{п1}$ необхідно досягати збільшення відстані до завадного передавача або зменшення потужності випромінювання завадного передавача в сусідньому каналі.

Задача 2. Визначити максимально припустиму еквівалентну шумову температуру та діаметр дзеркала параболічної антени приймача земної станції, щоб можна було забезпечити високоякісне індивідуальне приймання із супутника Sirius 2/3 цифрового телевізійного сигналу по каналу DVB-S (символьна швидкість — 27,5 Мбіт/с) зі швидкістю внутрішнього кодування FEC = 3/4 на межі зони покриття за таких умов:

- частота мовлення із супутника — 11776 МГц;
- смуга займаних сигналом частот — 36 МГц;
- коефіцієнт підсилення приймальної антени — 31 дБ;
- шумова температура антени — 50 К;
- коефіцієнт корисної дії антени становить 0,6.

Розв'язання. Згідно з відповідною Рекомендацією МСЕ для високоякісного приймання необхідно, щоб виконувалася умова

$$(P_c / P_{ш})_{вх} \geq 14 \text{ дБ}$$

для 99% часу найкращого місяця.

Окрім того, згідно з Рекомендацією МСЕ прийнято, що на межі зони покриття густина потоку потужності для індивідуального приймання $P_{інд} = -103 \text{ дБВт/м}^2$, тобто маємо:

$$P_{с.вх} = P_{інд} S_A,$$

де S_A — ефективна площа приймальної антени, м^2 ,

$$S_A = G_A (\lambda^2 / 4\pi).$$

Виконавши обчислення, дістаємо:

$$P_{с.вх} = P_{інд} G_A (\lambda^2 / 4\pi) = -111 \text{ дБВт.}$$

Далі маємо:

$$P_{ш} = P_{с.вх} - 14 \text{ дБ} = -125 \text{ дБВт.}$$

А оскільки, як відомо,

$$P_{ш} = k (T_A + T_{екв}) \Delta F,$$

то

$$T_{екв} = (P_{ш} / k \Delta F) - T_A = 630 \text{ К} - 50 \text{ К} = 580 \text{ К.}$$

В і д п о в і д ь. $T_{екв} = 580 \text{ К.}$

Задача 3. Визначити максимально припустиму еквівалентну шумову температуру та діаметр дзеркала параболічної антени приймача земної станції, щоб можна було забезпечити високоякісне індивідуальне приймання із

супутника Sirius 2/3 цифрового телевізійного сигналу по каналу DVB-S (символьна швидкість становить 27,5 Мбіт/с) зі швидкістю внутрішнього кодування FEC = 3/4 на межі зони покриття за таких умов:

- частота мовлення із супутника — 11776 МГц;
- смуга займаних сигналом частот — 36 МГц;
- коефіцієнт підсилення приймальної антени — 35 дБ;
- шумова температура антени — 50 К;
- коефіцієнт корисної дії антени — 0,6.

Розв'язання. Реальна чутливість радіоприймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході, за якого забезпечуються номінальна потужність сигналу на його виході та задане перевищення рівня сигналу над рівнем шумів, тобто відношення сигнал/шум на виході $P_c/P_{ш} = Q_{вих}$ має задовольняти умову $Q_{вих} > 1$.

Потужність $P_{ш}$ власних шумів можна обчислити за формулою

$$P_{ш} = k T_0 (T_A/T_0 + K_{ш} - 1) B_{ш},$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/кГц; $T_0 = 293$ К — абсолютна температура навколишнього середовища; T_A — ефективна шумова температура антени, К; $K_{ш}$ — коефіцієнт шуму приймача; $B_{ш}$ — ширина відповідної смуги частот.

Виконуючи потрібні обчислення, дістаємо:

$$\begin{aligned} P_{ш} &= 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293(120/293 + 1,26 - 1) \cdot 10 \cdot 10^6 = \\ &= 404(0,41 + 0,26) \cdot 10^{-16} = 404 \cdot 0,67 \cdot 10^{-16} = 271 \cdot 10^{-16} = \\ &= 2,71 \cdot 10^{-14} \text{ (Вт)} \text{ (-135,7 дБВт)}. \end{aligned}$$

Із наведених у додатку до цього розділу графіків залежності ймовірності появи помилок від відношення сигнал/шум знаходимо, що для забезпечення ймовірності бітової помилки (BER), що дорівнює 10^{-10} , для заданого виду модуляції 4QAM необхідно, аби відношення сигнал/шум $Q_{вих}$ становило близько 21,5 дБ.

Ураховуючи це, дістаємо:

$$P_c = P_{ш} + 21,5 \text{ дБ} = -135,7 + 21,5 = -124,2 \text{ дБВт} = 0,38 \cdot 10^{-12} \text{ Вт (0,38 пВт)}.$$

В і д п о в і д ь. Реальна чутливість радіоприймача становить 0,38 пВт.

Задача 4. Визначити максимально припустиму еквівалентну шумову температуру та діаметр дзеркала параболічної антени приймача земної станції, щоб можна було забезпечити високоякісне індивідуальне приймання із супутника Sirius 2/3 цифрового телевізійного сигналу по каналу DVB-S (символьна швидкість становить — 27,5 Мбіт/с) зі швидкістю внутрішнього кодування FEC = 3/4 на межі зони покриття за таких умов:

- частота мовлення із супутника — 11776 МГц;
- смуга займаних сигналом частот — 36 МГц;
- коефіцієнт підсилення приймальної антени — 31 дБ;
- шумова температура антени — 20 К;
- ККД антени — 0,6.

Розв'язання. Реальна чутливість радіоприймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході, за якого забезпечується номінальна потужність сигналу на його виході та досягається задане перевищення рівня сигналу над рівнем шуму, тобто відношення сигнал/шум на виході $P_c/P_{ш} = Q_{вих}$ має задовольняти умову $Q_{вих} > 1$.

Потужність $P_{\text{ш}}$ власних шумів можна обчислити за формулою

$$P_{\text{ш}} = k T_0 (T_A/T_0 + K_{\text{ш}} - 1) B_{\text{ш}},$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/кГц; $T_0 = 293$ К — абсолютна температура навколишнього середовища; T_A — ефективна шумова температура антени, К; $K_{\text{ш}}$ — коефіцієнт шуму приймача; $B_{\text{ш}}$ — ширина відповідної смуги частот.

Підставляючи відповідні числові значення, дістаємо:

$$P_{\text{ш}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293(180/293 + 1,59 - 1) \cdot 40 \cdot 10^6 \approx \\ \approx 404(0,61 + 0,59) \cdot 4 \cdot 10^{-16} \approx 1939 \cdot 10^{-16} \approx 1,94 \cdot 10^{-13} \text{ (Вт)} (-127,1 \text{ дБВт}).$$

Із наведених у додатку графіків залежності ймовірності появи помилок від відношення сигнал/шум знаходимо, що з метою досягнення ймовірності бітової помилки (BER), яка дорівнює 10^{-9} , для заданого виду модуляції QPSK (ФМ-4) необхідно, аби значення $Q_{\text{вих}}$ становило близько 12,0 дБ.

Отже, маємо:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{ш}} + 12,0 \text{ дБ} = -127,1 + 12 = -115,1 \text{ дБВт} = 3,1 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = 3,1 \text{ пВт}.$$

В і д п о в і д ь. Реальна чутливість радіоприймача становить 3,1 пВт.

Задача 5. На вхід радіоприймача, настроєного на середню частоту 10,9 ГГц смуги пропускання, впливає завада з рівнем 120 дБмкВ на частоті 4,3 ГГц.

Потрібно знайти необхідне послаблення завади у тракці радіочастоти, якщо динамічний діапазон $D_{\text{к.к}}$ за комбінаційними каналами з $m = 3$ становить 80 дБ за таких умов:

- смуга пропускання — 40 МГц;
- ефективна шумова температура — 150 К;
- шумова температура антени — 120 К;
- вхідний опір R приймача — 50 Ом.

Розв'язання. Динамічний діапазон $D_{\text{к.к}}$ приймача за комбінаційними каналами визначається відношенням порогу $P_{\text{пор.з}}$, дБВт, (максимально припустимого рівня завади в каналі з найбільшою сприйнятливістю) до граничної чутливості $P_{\text{гр.чутл}}$, дБВт, приймача.

При цьому

$$P_{\text{гр.чутл}} = k (T_{\text{ш}} + T_A) \Delta f_{\text{пр}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 270 \cdot 40 \cdot 10^6 = 149 \cdot 10^{-15} = -138,3 \text{ (дБВт)}.$$

Як показує аналіз, комбінація частот $3f_3 - f_c$ дає значення $f_{\text{пч}} = 2$ ГГц, тобто 3-тя гармоніка завади збігається з частотою гетеродина, якщо його взято верхнім:

$$P_{\text{пор.з}} = -138,3 \text{ дБВт} + 80 \text{ дБ} = -58,3 \text{ дБВт}.$$

Згідно з умовою знаходимо

$$P_{\text{вх.з}} = \frac{U^2}{R} = \frac{(1B)^2}{50 \text{ Ом}} = 0,2 \text{ Вт} = 20 \text{ мВт} = -17 \text{ дБВт}.$$

Отже, шукане загасання визначається так:

$$-58,3 \text{ дБВт} + 17 \text{ дБВт} = -41,3 \text{ дБВт}.$$

В і д п о в і д ь. Необхідне послаблення завади у тракці радіочастоти становить 41,3 дБВт.

Задача 6. Визначити необхідну для забезпечення хорошої якості зображення на екрані телевізора величину захисного відношення на вході телевізійного приймача, що працює в p 'ятому каналі, якщо на його вхід надходить заважаючий радіосигнал ОВЧ на частоті 95 МГц.

Розв'язання. Як відомо, несуча частота радіосигналу в п'ятому ТВ каналі рівна 93,25 МГц.

Визначимо частотну розстройку між несучими корисного (ТВ) і заважаючого (ОВЧ ЧМ) сигналу

$$\Delta F = 95 - 93,25 = 1,75 \text{ МГц.}$$

Для цього значення частотної розстройки за даними графіка на рис. 6.1 знаходимо, що значення захисного відношення $q_{\text{мдоп}}$, що забезпечить хорошу якість зображення на екрані телевізора, повинно бути не менше 55 дБ, тобто $q_{\text{мдоп}} \geq 55 \text{ дБ}$.

В і д п о в і д ь. Необхідне захисне відношення повинно бути не менше 55 дБ.

Задача 7. Для однорідних супутникових систем фіксованого зв'язку з ідентичними наземними станціями супутникового зв'язку визначити мінімальний діаметр наземної станції з круглою апертурою для забезпечення потрібного відношення сигнал/завада за таких умов:

- дальність зв'язку від усіх наземних станцій до супутників однакова;
- поширення сигналів у середовищі відбувається без втрат;
- усі супутники різних систем супутникового зв'язку однакової й мають кутове рознесення $\Delta\phi$ на геостаціонарній орбіті (див. таблицю);
- діапазон частот — F_0/F_1 (див. таблицю);

Кутове рознесення $\Delta\phi, \dots^\circ$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Діапазон частот $F_0/F_1, \text{ ГГц}$	11(11,2...11,7)/14(14,0...14,5)			20(17,7...21,2)/30(27,5...31,0)		
Кодування	Без надлишковості з $h_{\text{пор. потрібн}}^2$		Завадостійке із забезпеченням відношення сигнал/шум $h_{\text{потрібн}}^2 = 6 \text{ дБ}$			

● рівні бічних пелюсток діаграми спрямованості антени відповідають виразу

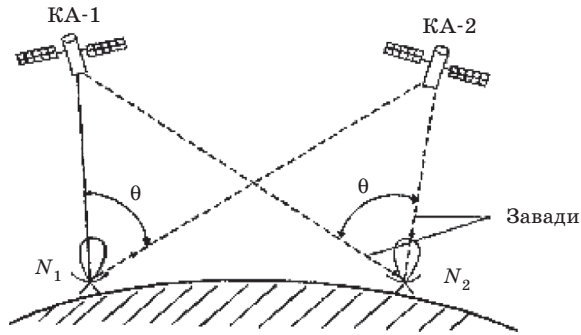
$$G(\theta) \leq \begin{cases} 2 + 15 \lg(d/\lambda), & \text{якщо } \theta_m \leq \theta < 100\lambda/d, \\ 49 - 10 \lg(d/\lambda) - 25 \lg \theta, & \text{якщо } 100\lambda/d \leq \theta < 48^\circ, \\ 10 - 10 \lg(d/\lambda), & \text{якщо } 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ, \end{cases}$$

де θ_m — межа основної пелюстки діаграми спрямованості у градусах ($\theta_m = 70 \lambda/d$); θ — кут у градусах, відлічуваний від напрямку максимуму діаграми спрямованості антени; λ — довжина хвилі.

Розв'язання. Методика розрахунку електромагнітної сумісності супутникових систем зв'язку ґрунтується на розрахунку завад від однієї (першої) системи супутникового зв'язку іншій (другій) такій системі за умови, що космічний апарат (КА) першої системи (КА-1) має найближче кутове рознесення на геостаціонарній орбіті відносно розглядуваного КА (КА-2).

Схему виникнення завади у приймачі станції 2 від випромінювань станції 1 іншої супутникової системи зв'язку наведено на рисунку.

Вважаємо, що станції 1 і 2 двох супутникових систем зв'язку працюють на одних і тих самих робочих частотах. Сигнал від завадної станції 1 надходить до приймача станції 2 двома шляхами. Перший шлях: станція 1 — КА-2 — станція 2. Другий шлях: станція 1 — КА-1 — станція 2.



Шляхи завад, що їх зазнає станція 2 від станції 1

За умов задачі для ідентичних станцій супутникового зв'язку та однакових дальностей від станцій супутникового зв'язку до КА в розрахунках відношень сигнал/завада достатньо враховувати тільки коефіцієнти підсилення приймальних і передавальних антен наземних станцій за основною та бічними пелюстками діаграми спрямованості. Діаграму спрямованості антен КА вважаємо достатньо широкою, так що її коефіцієнт підсилення однаковий для напрямів на станції 1 і 2.

Потужність корисного сигналу на виході приймальної антени на станції 2 пропорційна до добутку $G_{\Pi} G_{\text{пр}}$, де $G_{\Pi} = G_{\Pi}(0)$ і $G_{\text{пр}} = G_{\text{пр}}(0)$ — коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен наземної станції в основній пелюстці діаграми спрямованості антен. Потужність завади по першому шляху пропорційна до $G_{\Pi}(\theta) G_{\text{пр}}$, а по другому — до $G_{\Pi} G_{\text{пр}}(\theta)$, де $G_{\Pi}(\theta)$ і $G_{\text{пр}}(\theta)$ — коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен наземних станцій у напрямі θ (за бічними пелюстками діаграми спрямованості антен). Тоді для захисного відношення сигнал/завада справджується рівність

$$\frac{P_c}{P_3} = \frac{G_{\Pi} G_{\text{пр}}}{G_{\Pi}(\theta) G_{\text{пр}} + G_{\Pi} G_{\text{пр}}(\theta)}$$

Зокрема, якщо завади по шляху 1 немає (це відповідає випадку безпосереднього супутникового телемовлення), то захисне відношення сигнал/завада набирає простого вигляду $P_c/P_3 = G_{\Pi}/G_{\text{пр}}(\theta)$.

Для нашого випадку телекомунікаційної супутникової системи вираз для захисного відношення сигнал/завада доцільно звести до аналогічного вигляду.

Нехай $f_{\text{пр}}$ — частота приймання, а f_{Π} — частота передавання наземної станції.

Тоді $G_{\text{пр}}/G_{\Pi} = (f_{\text{пр}}/f_{\Pi})^2$ і можна записати

$$\frac{P_c}{P_3} = \frac{G_{\text{пр}}/G_{\text{пр}}(\theta)}{1 + [G_{\Pi}(\theta)/G_{\text{пр}}(\theta)](f_{\text{пр}}/f_{\Pi})^2}$$

Із виразу для рівня бічних пелюсток можна визначити, що відношення $G_{\Pi}/G_{\text{пр}}(\theta)$ залежить від відношення довжин хвиль (частот) на передавання та приймання при одному й тому самому значенні θ , так що

$$G_{\Pi}(\theta)/G_{\text{пр}}(\theta) = f_{\text{пр}}/f_{\Pi}$$

а отже,

$$\frac{P_c}{P_3} = \frac{G_{\text{пр}}/G_{\text{пр}}(\theta)}{1+(f_{\text{пр}}/f_{\text{п}})^3}$$

Для діапазону частот 11/14 ГГц, де 11 ГГц — частота приймання, а 14 ГГц — частота передавання наземної станції, можна записати

$$\frac{P_c}{P_3} = 0,485 \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{пр}}(\theta)}$$

Для діапазону частот 20/30 ГГц маємо:

$$\frac{P_c}{P_3} = 0,3 \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{пр}}(\theta)}$$

Із цих рівнянь для захисного відношення $P_c/P_3 = 20$ дБ необхідно визначити діаметри антен наземних станцій, які забезпечують це захисне відношення.

Подамо коефіцієнт підсилення приймальної антени з круглою апертурою через її діаметр d . Маємо:

$$G_{\text{пр}} = k_{\text{в.п}} \pi^2 (d/\lambda)^2,$$

де $k_{\text{в.п}}$ — коефіцієнт використання антени. Для типового значення $k_{\text{в.п}} = 0,6$ дістаємо $G_{\text{пр}}$, дБ:

$$G_{\text{пр}} = 7,7 + 20 \lg(d/\lambda).$$

Аналогічно знаходимо

$$G_{\text{пр}}(\theta) = 49 - 10 \lg(d/\lambda) - 25 \lg \theta.$$

Тоді

$$G_{\text{пр}}/G_{\text{пр}}(\theta) = -41,3 + 30 \lg(d/\lambda) + 25 \lg \theta.$$

Можна вважати, що кут θ між двома КА відносно наземної станції близький до кута $\Delta\varphi$ між двома КА відносно центра Землі, так що в останньому виразі згідно з умовами задачі можна взяти $\theta = 2,5^\circ$.

Остаточно дістаємо:

$$d = \begin{cases} 1,77 \text{ м} & \text{— для діапазону частот 11/14 ГГц,} \\ 1,15 \text{ м} & \text{— для діапазону частот 20/30 ГГц.} \end{cases}$$

Задача 8. Визначити необхідне захисне відношення в разі, коли на вхід приймача фіксованої супутникової служби надходить корисний радіосигнал типу ЧРК-ЧМ із такими параметрами:

- кількість каналів ТЧ у модулюючому телефонному сигналі $n = 24$;
- верхня гранична частота лінійного спектра $F_{\text{с.в}} = 108$ кГц;
- девіація частоти на канал $\Delta f_{\text{к}} = 164$ кГц;
- ефективний індекс модуляції $M = 2,55$;
- ширина смуги частот радіосигналу — 1,25 МГц.

Завадний радіосигнал від суміщеної супутникової служби також типу ЧРК-ЧМ із такими параметрами:

- кількість каналів ТЧ у модулюючому сигналі $n = 60$;
- верхня гранична частота лінійного спектра $F_{\text{с.в}} = 252$ кГц;
- девіація частоти на канал $\Delta f_{\text{к}} = 270$ кГц;
- ефективний індекс модуляції $M_2 = 2,16$;
- ширина смуги частот радіосигналу — 5 МГц.

Згідно з критерієм ЕМС припустима середньохвилинна психофотометрична потужність шуму в телефонному каналі, що дорівнює 2500 пВт, може перевищуватися протягом не більш як 20% часу будь-якого місяця. При цьому максимально припустима потужність завадного радіосигналу від одного джерела становить 800 пВт.

Розв'язання. Розрахунок ведеться для гіршого випадку, коли несучі частоти корисного сигналу та заважаючого сигналу співпадають і для верхнього телефонного каналу.

Для розрахунку функції $D(1,0)$ можливо застосувати наближену формулу (6.6.)

$$D(1,0) \approx (F_{\text{св}}/F_{\text{мв}})g_{\text{м}}(F_{\text{св}}/F_{\text{мв}}) = 108/252g_{\text{м}}(108/252).$$

За графіком нормалізованого спектра на рис. 6.2 для індексу модуляції заважаючого сигналу $M_{(\text{е})2} = 2,16$ і відносної частоти $\gamma = F_{\text{св}}/F_{\text{мв}} = 0,4$, знаходимо $g_{\text{м}}(0,4) \approx -7,5$ дБ. Значення функції $10 \lg D(1,\delta)$ при цьому рівне $-11,5$ дБ.

За формулою (6.4) при максимально допустимій величині потужності завади $P_{\text{п.доп}} = 800$ пВт — знаходимо необхідне захисне відношення:

$$\begin{aligned} q_{\text{м доп}} &= 88,43 - 10 \lg P_{\text{п доп}} + 20 \lg (F_{\text{св}}/\Delta f_{\text{к}}) - 10 \lg F_{\text{св}} + 10 \lg D(1,\delta) = \\ &= 88,4 - 10 \lg 800 + 20 \lg (108/164) - 10 \lg 108 \cdot 11,5 \approx 24 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

В і д п о в і д ь. Необхідне захисне відношення повинне бути не менше 24 дБ.

Задача 9. Визначити захисне відношення для випадку, коли корисний радіосигнал супутникової системи, модульований за фазою цифровим потоком зі швидкістю передавання $R_1 = 40$ Мбіт/с, передається у смузі частот $\Delta f_1 = 34$ МГц.

Завадний радіосигнал модульовано за фазою цифровим потоком зі швидкістю $R_2 = 2,048$ Мбіт/с. Обидва радіосигнали мають модуляцію типу 4-ФМ.

При цьому врахувати, що відповідно до критерію ЕМС допустима середньохвилинна психофотометрична потужність шуму в телефонному каналі 2500 пВт може бути перевищена не більше ніж в 20% часу будь-якого місяця, а максимально допустима потужність заважаючого радіосигналу від одного джерела 800 пВт.

Розв'язання. Оскільки спектр цифрового заважаючого сигналу значно ширший спектру сигналу ЧРК-ЧМ застосуємо формулу (6.8)

$$\begin{aligned} D(1,0) &= (F_{\text{св}}/\beta R) (\sin x/x)^2 = \left(2 \frac{F_{\text{св}}}{R}\right) \left[\left(\sin \left(\frac{2\pi F_{\text{св}}}{R} \right) \right) / (2\pi F_{\text{св}}/R) \right]^2 = \\ &= (2 \cdot 108/2048) \times [\sin(6,28 \cdot 108/2048)]^2 \approx 0,1. \end{aligned}$$

Необхідне захисне відношення визначаємо за формулою (6.4) при максимально допустимій величині потужності завади $P_{\text{п.доп}} = 800$ пВт:

$$\begin{aligned} q_{\text{м доп}} &= 88,43 - 10 \lg P_{\text{м доп}} + 20 \lg (F_{\text{св}}/\Delta f_{\text{к}}) - 10 \lg F_{\text{св}} + 10 \lg D(1,0) = \\ &= 88,4 - 10 \lg 800 + 20 \lg (108/164) - 10 \lg 108 + 10 \lg 0,1 = 25,4 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

В і д п о в і д ь. Необхідне захисне відношення має бути не менше 25,4 дБ.

Задача 10. Визначити необхідне захисне відношення в тому разі, коли на вхід приймача фіксованої супутникової служби надходить корисний радіосигнал типу ЧРК-ЧМ із такими параметрами:

- кількість каналів ТЧ у модулюючому телефонному сигналі $n = 24$;
- верхня гранична частота лінійного спектра $F_{\text{с.в}} = 108$ кГц;
- девіація частоти на канал $\Delta f_{\text{к}} = 164$ кГц;
- ефективний індекс модуляції $M_1 = 2,55$;
- ширина смуги частот радіосигналу — $1,25$ МГц.

Завадний радіосигнал характеризується чотирипозиційною фазовою модуляцією (ФМ-4) при швидкості передавання цифрового потоку $R = 2,048$ Мбіт/с.

Розв'язання. На графіку нормалізованого спектру на рис. 6.2 для індекса модуляції завадового сигналу $M_{(e)2} = 2,16$ та відносної частоти $\gamma = F_{\text{св}}/F_{\text{зв}} = 0,4$, знаходимо $g_3(0,4) \approx -7,5$ дБ. Значення функції $10\lg D(1,\delta)$ при цьому дорівнює $-11,5$ дБ.

$$\begin{aligned} q_{\text{з.доп}} &= 88,43 - 10\lg P_{\text{з.доп}} + 20\lg(F_{\text{св}}/\Delta f_{\text{к}}) - 10\lg F_{\text{св}} + 10\lg D(1,0) = \\ &= 88,4 - 29,0 + 20\lg(108/164) - 10\lg 108 - 11,5 \approx 24 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Відповідь. Необхідне захисне відношення повинно бути не менше, ніж 24 дБ.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що розуміють під електромагнітною обстановкою? Якими особливостями характеризується зовнішня і внутрішня ЕМО?

2. Що розуміють під критерієм ЕМС РЕЗ? Прокоментуйте різні критерії ЕМС. Чим зумовлено їхні відмінності та велику кількість числових значень захисних відношень?

3. Виконайте розрахунок граничної відстані між приймачем і передавачем «своєї служби» діапазону робочих частот 1,5...60 МГц (цей передавач має потужність $P_{\text{пер}} = 100$ Вт і працює сигналами класу 1К10F1В) за припустимим рівнем завади сусіднього каналу при $G_{\text{пер}} = G_{\text{прм}} = 1$, $D_{\text{с.к}}(\Delta f) = 60$ дБ. При цьому візьміть модель ПРХ для вільного простору, вважаючи, що робоча частота дорівнює 50 МГц. Ширина смуги частот становить 1050 Гц. Крок сітки дорівнює 850 Гц; припустиме відношення сигнал/завада становить 18 дБ.

4. Назвіть найбільш характерні рекомендації МСЕ-Р щодо критеріїв ЕМС.

5. Назвіть приклади використання критеріїв у разі впливу завади сусіднього каналу.

6. Рівняння для розрахунку чутливості та завад для радіоастрономічних систем. Порогові рівні завад для наддовгобазової інтерферометрії.

7. Розкрийте визначення термінів, застосовуваних під час координації частотних присвоєнь суміщених радіослужб.

8. Аргументуйте, чим зумовлено велику кількість рекомендацій МСЕ-Р щодо координації частотних присвоєнь.

9. Назвіть вихідні дані для розв'язання завдань щодо ЕМС РЕЗ.

10. Розкрийте зміст основних етапів розв'язування завдань щодо ЕМС РЕЗ.

11. Розв'язання завдання ЕМС РЕЗ неодмінно передбачає етап оцінювання ЕМО. Як оцінюється ЕМО в «парній ситуації» для об'єктів і угруповань?

12. Розрахунок норм частотно-територіального рознесення.

Доведіть, що вираз

$$P_{\text{с.к}} \leq P_{\text{пер.с.к}} + G_{\text{пер.с.к}} + G_{\text{прм}} - W_{\text{с.к}}(r_z) - D(\Delta f_{\text{с.к}})$$

(або аналогічний йому для завад іншого походження) можна використати (при потребі — з певними змінами) для розв'язання завдань РЕЗ, які працюють.

13. Основна концепція ефективності використання спектра згідно з Рекомендацією МСЕ-Р SM:1046.

14. Коефіцієнт використання спектра.

15. Простір передавача та приймача.

16. Спектральний простір системи.

17. Геометричний простір і частотна складова обсягу радіочастотного ресурсу.

18. Часовий множник і зайнятість спектра.

19. Теоретичні передумови ефективного використання частотного спектра в телекомунікаційних системах.
20. Наведіть приклади можливих методів підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу.
21. Особливості використання надвисокочастотних діапазонів.
22. Особливості та приклади використання спектра частот 40...3000 ГГц.
23. Системи електрозв'язку, що використовують електромагнітний спектр понад 3000 ГГц.
24. Методи ефективного використання часової складової обсягу РЧР.
25. Методика визначення правил частотно-територіального рознесення між однаковими та різними системами.
26. Основні формули для визначення взаємного впливу кориних сигналів, завод і характеристик приймача.
27. Методика визначення частотно-територіального рознесення для радіосистем.
28. Частотно-територіальне планування.
29. Лінійне планування частот на основі теорії графів.
30. Поясніть використання захисного відношення як критерію ЕМС систем радіозв'язку.

Відповідь на питання 27

Методика визначення частотно-територіального рознесення (ЧТР) для радіосистем — це обчислення рівня завад на вході приймача, який сприймає заваду, а також визначення критерію прийманих завад.

Розрахунок завад

Цей розрахунок залежить від двох головних чинників — спектрального та просторового.

Спектральний чинник залежить від спектральних характеристик завадного передавача та амплітудно-частотної характеристики приймача, який сприймає завади. Для розрахунків необхідно точно знати спектральну густину потужності завадного сигналу, що залежить від таких чинників, як використовуваний метод модуляції та ширина смуги частот інформаційного сигналу для аналогових систем.

Що ж до приймача, який сприймає завади, то необхідно знати еквівалентні амплітудно-частотні характеристики приймача за проміжною частотою (ПЧ).

Як основу для моделювання частотної характеристики приймача за ПЧ можна використовувати надавані виготовлювачем характеристики, такі як ширина смуги блока ПЧ за рівнем β і 40 дБ.

Спектральний чинник подається за допомогою коефіцієнта подавлення сигналів поза смугою каналу $OCR(\Delta f)$, який визначається, формулою, дБ:

$$OCR(\Delta f) = -10 \lg \frac{\int_{-\infty}^{\infty} P(f) H(f + \Delta f)^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} P(f) df}, \quad (1)$$

де $P(f)$ — спектральна густина потужності завадного сигналу, Вт/Гц;

$H(f)$ — еквівалентна амплітудно-частотна характеристика за ПЧ приймача, який сприймає завади;

Δf — частотне рознесення між приймачем, який сприймає завади, і завадним передавачем.

Із формули (1) випливає, що $OCR(\Delta f)$ сильно залежить від ступеня перекриття між смугою пропускання приймача та спектром потужності завадного сигналу. Зі збільшенням Δf ступінь такого перекриття зменшується, що приводить до зменшення потужності завади, а отже, і до вищих значень $OCR(\Delta f)$.

Критерій завад

Зазвичай ним є просте співвідношення, на підставі якого можна судити про припустимість даної завади. В ідеалі зазначений критерій має бути пов'язаний із таким рівнем погіршення якісних характеристик роботи приймача, що сприймає завади, який вважається прийнятним.

Проте цей підхід важко втілити на практиці, оскільки існує надзвичайно багато різноманітних систем і технологій, які реагують на завади по-різному. Тому було вибрано загальніший критерій завад, що ґрунтується на захисному відношенні (у децибелах).

Завада вважається припустимою, якщо виконується нерівність

$$P_d - P_j \leq \Delta, \quad (2)$$

де P_d , P_j — рівень відповідно корисного та завадного сигналу, дБВт; Δ — захисне відношення, дБ.

Процедура визначення правила ЧТР

Крок 1. Визначити рівень корисного сигналу P_d , дБВт, на виході приймача, що сприймає заваду.

Крок 2. Розрахувати результуючий рівень завади на виході приймача, який сприймає заваду, за такою формулою:

$$P_j = P_t + G_r - L_p - OCR(\Delta f),$$

де P_t — еквівалентна ізотропно випромінювана потужність (ЕІВП) завадного передавача, дБВт; G_r — коефіцієнт підсилення приймальної антени відносно ізотропної антени, дБі; L_p — втрати на трасі поширення; $OCR(\Delta f)$ — коефіцієнт подавлення сигналів поза каналом приймача при рознесенні частот Δf згідно з формулою (1).

ДОДАТОК ДО РОЗДІЛУ 6

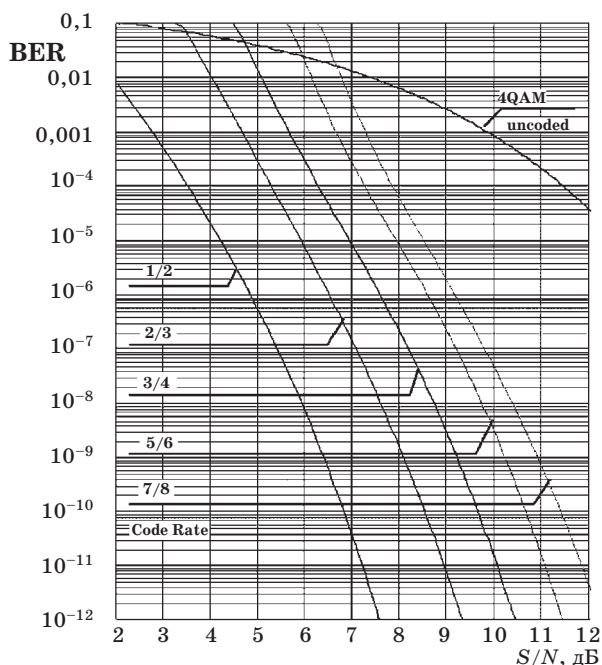


Рис. Д.1. Графіки залежності ймовірності BER помилок від значення відношення S/N для DVB-S (QPSK) і 4QAM

Примітки:

1. DVB (QPSK) має два рівні кодозахисту: Вітербі та Ріда-Соломона (RS).
2. При модуляції DVB-S (QPSK) у разі зміни S/N усього на 0,5 дБ BER змінюється майже на порядок. Ділянка, де BER досягає значення 10^{-4} , найбільш критична, оскільки це зона порогу для більшості приймальних пристроїв DVB.

Перетворення відношення сигнал/шум S/N (C/N), дБ, у відношення енергія біт/спектральна густина шумів $E_b N_0$, дБ

З урахуванням кількох факторів ці відношення можна конвертувати між собою

$$C/N = E_b/N_0 + k_{FEC} + k_{QPSK/QAM} + k_P,$$

або
$$E_b/N_0 = S/N - k_{roll\ off} - k_{FEC} - k_{QPSK/QAM} - k_P,$$

де
$$C/N = S/N - k_{roll\ off}, \text{ дБ.}$$

Фактор впливу коду Ріда-Соломона:

$$k_{FEC} = 10 \lg(188/204) = -0,3547 \text{ (дБ)}.$$

Фактор впливу (модуляції) $k_{QPSK/QAM} = 10 \lg t$ для різних методів:

Метод	t	$k_{QPSK/QAM}$, дБ
QPSK	2	3,0103
16 QAM	4	6,0206
64 QAM	6	7,7815
256 QAM	8	9,0309

Фактор коду Вітербі $k_p = 10\lg P$:

Метод	P	k_p , дБ
QPSK	1/2	-3,0103
	2/3	-1,7609
	3/4	-1,2494
	5/6	-0,7918
	7/8	-0,5799
QAM	1	0

Фактор округлення $k_{\text{roll off}} = 10\lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right)$:

Метод	α	$k_{\text{roll off}}$, дБ
DVB-C	0,15	-0,1660
DVB-S	0,35 (номінальний)	-0,3977
	0,27 (фактично в передавачі)	-0,3035

Для демодулятора QAM:

$$E_b/N_0 = S/N - 10\lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10\lg\frac{188}{204} - 10\lg m \text{ (дБ)}.$$

Для демодулятора QPSK із вимірюванням після Вітербі:

$$E_b/N_0 = S/N - 10\lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10\lg\frac{188}{204} - 10\lg m - 10\lg P \text{ (дБ)}.$$

Для демодулятора QPSK із вимірюванням до Вітербі:

$$E_b/N_0 = S/N - 10\lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10\lg m - 10\lg P \text{ (дБ)}.$$

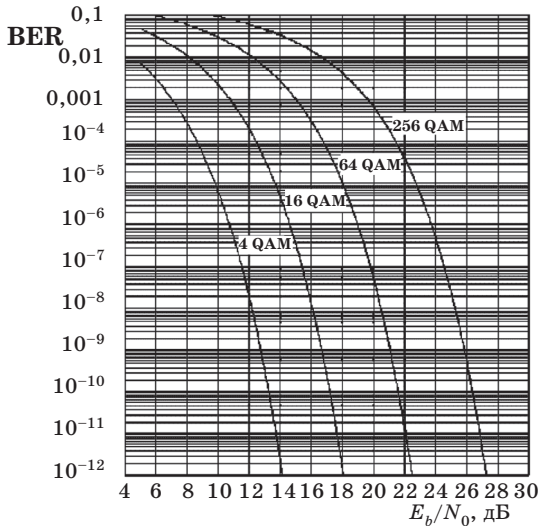


Рис. Д.2. Графіки залежності ймовірності BER помилок від значення відношення енергії біт/спектральна густина потужності шумів E_b/N_0

Зауважимо, що на рис. Д.2 наведено криві, які характеризують ймовірності виникнення помилок на біт для широко використовуваних у системах радіорелейного й супутникового зв'язку кодів:

- згорткових із декодуванням за методом Вітербі та каскадних кодів зі згортковим декодуванням внутрішнього коду;
- зовнішнього коду Ріда-Соломона.

РОЗДІЛ 7

ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ РЧР

7.1. Необхідність управління використанням 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.

Під терміном «*управління використанням РЧР*» еадалі будемо розуміти комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на спільне використання РЧР дедалі зростаючою кількістю його споживачів за умови забезпечення ЕМС застосовуваних (і таких, що їх застосування припустиме в майбутньому) РЕЗ.

Беручи до уваги зростання масштабів використання суспільством радіотехнологій (і не лише) та величезні можливості розвитку, забезпечувані цими технологіями, доходимо висновку про велике значення роботи фахівців у сфері

управління використанням РЧР та важливість національних систем управління використанням РЧР.

Безперервний технічний прогрес надає широкі можливості для виникнення безлічі нових галузей використання РЧР. При цьому нові розробки, хоча вони й нерідко забезпечують ефективніше використання спектра, усе ж підвищують попит на обмежений РЧР.

Для забезпечення раціонального й ефективного використання РЧР *спільне використання наявного РЧР має бути скоординоване між радіослужбами в національних межах* згідно з Національним регламентом, а в разі міжнародного його використання — згідно з Регламентом радіозв'язку МСЕ.

Здатність кожної держави повною мірою використовувати РЧР істотно залежить від фахівців із управління використанням цього ресурсу, які сприяють упровадженню та раціональному використанню систем радіозв'язку, забезпечуючи їх спільне функціонування.

Як відомо, РЧР — це природний ресурс, доступний однаковою мірою в кожній країні. Цей ресурс має великий потенціал, і за належної регулювання його можна використати для підвищення ефективності й продуктивності праці, а також для поліпшення якості життя у країні. Кожна держава має можливість отримувати користь від цього ресурсу, створюючи й реалізуючи програми управління використанням РЧР, що передбачають його організоване й ефективне використання.

Для отримання користі від цього природного ресурсу кожна країна має розробити систему й методи з управління використанням РЧР *для забезпечення раціональної та ефективної координації між різними службами*, а також щодо задоволення поточних і довгострокових потреб існуючих і нових служб радіозв'язку.

Адміністрація зв'язку повинна мати у своєму розпорядженні систему з управління використанням РЧР на національному рівні та фахівців — справжніх професіоналів, добре підготовлених до розв'язування цих складних завдань.

На допомогу адміністраціям для реалізації можливостей з управління використанням РЧР на національному рівні було розроблено Довідник із управління використанням спектра на національному рівні [3].

Аргументація з цього питання міститься в Рекомендації МСЕ-P SM.1047 [145]:

«Асамблея радіозв'язку МСЕ, беручи до уваги, що:

а) ефективне управління використанням спектра істотно впливає на максимізацію зиску, отримуваного від спектрального ресурсу;

б) з огляду на невпинне зростання потреб у радіочастотному спектрі необхідно вдосконалювати управління його використанням;

с) при розробці та впровадженні ефективних національних систем управління використанням спектра необхідно спиратися на довідковий матеріал для допомоги персоналу, що виконує завдання з управління використанням спектра,

рекомендує:

1. Щоб Довідник із управління використанням спектра на національному рівні використовувався як керівництво з розробки програм управління використанням спектра на національному рівні в таких галузях:

— основи управління використанням спектра;

— методи інженерного забезпечення управління використанням спектра;

- дозвільні процедури щодо використання частот;
- використання спектра (зокрема, ефективність його використання);
- управління використанням спектра (інспекція та контроль);
- автоматизація управління використанням спектра;
- планування використання спектра.

2. Щоб Довідник із радіоконтролю та Довідник із комп'ютерних методів управління використанням спектра використовувалися як керівництво в тому разі, коли необхідна докладніша інформація з цих двох питань».

З огляду на зростаюче застосування традиційних і нових технологій електрозв'язку перед адміністраціями постають дедалі складніші й масштабніші завдання у сфері управління використанням РЧР. Для ефективного розв'язування завдань управління використанням РЧР потрібні засоби накопичення та аналізу даних, а отже, для розв'язування зазначених завдань доцільно й украй необхідно застосовувати ЕОМ (Рекомендація МСЕ-Р SM.667 [146]). Перший посібник під назвою «Довідник із комп'ютерних методів управління використанням спектра» було розроблено 1983 року і відтоді він неодноразово переглядався з метою вдосконалення.

Керівництво з розробки базової автоматизованої системи управління використанням спектра (BASMS) викладено в Рекомендації МСЕ SM.1048 [147]:

«Асамблея радіозв'язку МСЕ, беручи до уваги, що:

a) створення системи управління використанням радіочастотного спектра забезпечить і полегшить управління використанням спектра та радіоконтроль на національному рівні, координацію між адміністраціями та заявлення до Бюро радіозв'язку (БР);

b) основні елементи даних, задіяних в управлінні використанням спектра на національному рівні, наведено в Передмові до **Міжнародного переліку частот** та в Рекомендації МСЕ-Р SM.667 [146];

c) адміністрації мають накопичувати дані з управління використанням спектра в автоматизованій системі управління базою даних;

d) багато адміністрацій успішно впровадили автоматизовану систему управління базою даних (DBMS) у процесі розробки та ведення бази даних системи управління використанням спектра на національному рівні;

e) **комп'ютерні програми, що здійснюють технічний аналіз, наведено в Каталогі програмного забезпечення управління використанням радіочастотного спектра МСЕ;**

f) також необхідно розробити автоматизовану систему управління використанням спектра для країн, що розвиваються, з метою ефективного регулювання присвоєнь частот та інших даних управління використанням спектра в цих країнах відповідно до рекомендованих стандартів;

рекомендує, щоб виконувалося таке:

1. Розроблялося та відстежувалося комп'ютерне програмне забезпечення для базової автоматизованої системи управління використанням спектра (BASMS).

2. Існуючі автоматизовані системи управління використанням спектра було вивчено на предмет їх повного або часткового використання для прискорення розробки системи BASMS у максимально стислі терміни.

3. Інтерфейс користувача системи було розроблено англійською мовою з можливістю перекладу іншими мовами; вихідні документи, призначені для загального користування (наприклад, ліцензії), мають надаватися, по можливості, національною мовою.

4. Система BASMS розроблялася в такий спосіб, аби забезпечити окремого користувача (без спільного використання даних тощо), з урахуванням того, що в майбутньому має бути розроблено поліпшену систему управління використанням спектра (ASMS), яка ґрунтується на функціональних вимогах до системи BASMS для врахування підвищеної гнучкості та мережних засобів у разі багатостороннього доступу.

5. Заходи з упровадження системи BASMS включали в себе необхідну підготовку персоналу.

6. Використовувалися такі функціональні вимоги до програмного забезпечення та обладнання при розробці системи BASMS:

6.1. Функціональні вимоги

У цьому розділі наведено дії та процедури, забезпечувані системою BASMS. Система BASMS має відповідати таким функціональним вимогам.

6.1.1. Ведення реєстрації

Ведення бази даних, що містить відомості про частотні присвоєння та інформацію щодо індивідуальних власників ліцензій. До неї має бути включено технічні дані, зазначені в Рекомендації МСЕ-Р SM.667 [146] для фіксованої, сухопутної рухомої та радіомовної служб.

6.1.2. Присвоєння частот

Автоматичне визначення для заявника вільних від завад частот за їх наявності; якщо їх немає — визначити варіант із прийнятними завадами. Такі автоматизовані методи використовуватимуться у практично можливих випадках. У цьому процесі мають застосовуватися відповідні розрахунки згідно із загальноприйнятими методами оцінювання завад, залежностями частоти від відстані або таблицями, які надають користувачу перелік мінімально прийнятних просторових рознесенень для випадків використання каналів, що збігаються, або сусідніх для кожної служби в кожній смузі частот. Має бути також можливість аналізу конкретного пропонованого частотного присвоєння з використанням таких самих моделей визначення ймовірності завад.

6.1.3. Прикордонна координація

Визначення заявок на ліцензії, що потребують прикордонної координації, та автоматичний випуск координаційного документа для використання при координації з прикордонними державами. Із цієї метою можна використовувати цифрову карту світу МСЕ (IDWM).

6.1.4. Заявлення до Бюро радіозв'язку

Автоматичне визначення заявок, що підлягають заявленню до БР, і заповнення відповідних форм заявок для подання до БР. Здійснення відповідних записів у системі BASMS для відстежування процесу заявлення.

6.1.5. Ліцензійні платежі та збори

Реєстрація оплати збору та стану оплати, пов'язаної з витратами на процес ліцензування. Для цілей реєстрації оплати та визначення стану оплати можуть використовуватися лише елементарні засоби, оскільки методи розрахунку оплати та визначення вимог до торгів неоднакові в різних адміністраціях. У цьому сенсі програми мають бути відкритими для змін з боку адміністрацій, аби вони могли врахувати особливості місцевих умов.

6.1.6. Радіоконтроль

Надання даних щодо управління використанням спектра для сприяння роботі радіоконтролю станцій.

Процедура приймання обладнання (додатково). Забезпечення дозволів, сертифікації, узгодження та сертифікації типу обладнання.

6.1.7. Підготовка звітів

6.1.7.1 Друкування ліцензій

Друкування ліцензій за запитом особи, відповідальної за управління використанням спектра. Друкування ліцензій має виконуватись у стандартному форматі. Постійну та змінну частини тексту має контролювати користувач. До ліцензії потрібно включити пункт «Примітки». Інші документи такого плану, наприклад дозвіл на імпорт або виробничі сертифікати, потрібно подавати, по змозі, у такій самій формі.

6.1.7.2. Стисле подання реєстрації

Надання узагальненої інформації щодо кожної реєстрації за вибором користувача.

6.1.7.3. Докладне подання реєстрації

Надання повного переліку всіх даних, що містяться в обраних реєстраціях.

6.1.7.4. Звіти щодо виконаних дій

Надання періодичних звітів щодо виконаних дій на запит особи, відповідальної за управління використанням спектра; такі звіти неодмінно мають містити:

- кількість заявок, що перебувають в обробці (загальна кількість, по службах, по смугах);
- загальну кількість заявок.

6.1.7.5. Попередження щодо закінчення терміну або поновлення заявки

Автоматичне створення переліку заявок, термін дії яких закінчується на дату, що її зазначив користувач. По змозі, створення друкованої копії попереджень щодо закінчення терміну.

6.1.7.6. Стислі звіти щодо стану проходження заявок

Надання стислих статистичних звітів і витягів із деяких реєстрацій на кожному етапі обробки заявок.

6.1.7.7. Звіти щодо стану проходження заявок

Надання переліку всіх реєстрацій, що з вини користувача (затримка, неповне подання тощо) перебувають на даному етапі обробки.

6.1.8. Інтерфейс користувача

Інтерфейс користувача буде розроблено англійською мовою з додатковою можливістю перекладу іншими мовами. Інтерфейс користувача має бути подано у формі типу «Windows» із можливістю використання різних підказок, меню тощо. Ці особливості полегшать перехід до вдосконаленої системи.

6.2. Вимоги до даних із поширювання радіохвиль та захисних відношень служб радіозв'язку

Система BASMS має забезпечувати розрахунок завад на частотах, вищих за 30 МГц, — по змозі на основі Рекомендацій МСЕ для таких служб радіозв'язку:

- сухопутних рухомих служб;
- радіорелейних ліній міжпунктового зв'язку фіксованої служби;
- радіомовної служби.

6.3. Вимоги до програмного забезпечення

Програму BASMS має бути створено на основі однієї з широко використовуваних мов управління базами даних — такої, що найбільше відповідає

особливим вимогам стосовно управління використанням спектра. Програму BASMS має бути розроблено для забезпечення наведених далі функцій.

6.3.1. Стандартна обробка даних

- Створення реєстрації;
- редагування/застосування реєстрації;
- вилучення реєстрації.

6.3.2. Уведення даних

Необхідно передбачити, щоб введення даних відбувалося якомога простіше, зокрема з використанням логічного редагування з екрана, та перевіркою правильності введення даних і логічних замовчувань, що їх змінює користувач. Уведення даних потрібно оптимізувати, щоб уможливити перевірку вхідних даних, і при цьому воно, наскільки це можливо, має відповідати тому формату даних, який прийняло БР.

6.3.3. Змінювання даних

Зміни реєстрації мають здійснюватися за допомогою того самого редагування з екрана, визначеного для введення нових даних, коли це можливо.

6.3.4. Копіювання та зберігання даних

Слід залучити стандартні можливості, що забезпечують дублювання для захисту даних від втрат. За вказівкою особи, відповідальної за управління використанням спектра, необхідно передбачити можливість зберігання будь-якої вилученої реєстрації для архіву. Реєстрації мають позначатися індивідуально та за належністю до класу (що слід відбити в таблиці даних, яку змінює користувач).

6.3.5. Запит до бази даних

Необхідні реєстрації мають легко ідентифікуватися та витягатися. Для первинної вибірки мають використовуватися стандартні пошукові екрани, що передбачають стандартні критерії добору. Система BASMS має також забезпечувати вибірку з використанням методів здійснення запиту згідно з прикладом (Query by Example) та розширеного запиту (Extended Query). Запит може здійснюватися, зокрема, за такими критеріями:

- вибір за діапазоном частот;
- вибір за діапазоном частот та шириною смуги;
- вибір за заданою частотою або каналом;
- вибір за унікальною ознакою реєстрації;
- вибір за географічною зоною;
- вибір за службою;
- вибір за користувачем;
- вибір за позивним знаком чи опізнавачем станції.

Результати всіх запитів має бути впорядковано за «рубриками», що їх зазначив користувач.

6.3.6. Перевірка правильності

Перевіркою правильності називається процес, під час якого дані, що вводяться в систему BASMS, перевіряються на предмет їхньої прийнятності або придатності. Система BASMS має включати в себе перевірку правильності для кожної рубрики, що вводиться, із використанням інформації в таблицях перевірки правильності, контроль яких здійснюють користувачі.

6.3.7. Статус реєстрації

Інформація файлів даних системи BASMS зазнаватиме постійних змін. Для планування система BASMS містить кілька категорій статусу реєстрації (хоча

реєстрації не обов'язково мають зберігатися в різних файлах, що відповідають цим категоріям). Необхідно передбачити положення стосовно статусу реєстрації та його відстежування. Ознаки статусу, які має призначати користувач, повинні визначати тип статусу обробки (наприклад, попередня обробка, запит на уточнення даних, проведення конференції, схвалення тощо).

6.3.8. Змінювання параметрів програми

Програма має бути якомога простішою для використання та внесення змін. Зміни, якщо вони дозволені, мають бути мінімальними.

6.3.9. Сумісність з іншими файлами бази даних

Необхідно враховувати питання сумісності.

6.3.10. Зміст даних

У Рекомендації МСЕ-Р SM.667 наведено характеристики даних, які має бути включено до бази даних із управління використанням спектра. Система BASMS має додатково забезпечувати введення та передавання даних у заданих форматах. Для внутрішнього користування такі дані мають зберігатися у форматі, найбільш ефективному з погляду спеціальних застосувань. Для підвищення ефективності мають розглядатися вимоги до точності даних і швидкості їх обробки. Загалом дані мають зберігатися в компактному внутрішньому форматі доти, доки не знадобиться їх зовнішнє застосування. Формати відображення на екрані мають добиратися за індивідуальними вихідними форматами. При виборі й визначенні елементів даних, що включаються до бази даних системи BASMS, слід керуватися стандартною групою елементів даних, наведених у Рекомендації МСЕ-Р SM.667. Елементи даних мають включати в себе відомості, необхідні для заявлення до БР.

Програма BASMS має забезпечувати можливості введення даних із Міжнародного переліку частот на компакт-диску й з Інформаційного циркуляра з радіозв'язку, а також із Національного переліку частот.

6.4. Документація

Необхідно передбачити докладне керівництво для користувача. Це керівництво має містити опис усіх робочих особливостей програми, достатній для того, аби невідготовлений користувач зміг скористатися програмою з метою:

- визначення комп'ютера, на якому потрібно використовувати дану програму;
- уведення цієї програми в комп'ютер;
- роз'яснення процедури, використовуваної для отримання частотного присвоєння;
- навчання інших користувачів правильного використання програми;
- змінювання параметрів, що керують роботою програми, із використанням таблиць даних, що їх змінює користувач;
- дублювання та зберігання даних — як дій, необхідних для забезпечення захищеності останніх.

6.5. Програмне забезпечення та обладнання

Систему BASMS має бути розроблено для роботи з комп'ютерами мінімальної конфігурації. Як операційна система має використовуватися Microsoft Windows, оскільки програмне забезпечення розробляється у МСЕ саме для цього середовища.

Що ж до технічних вимог стосовно робочих станцій, то їх висувати немає жодної потреби з огляду на те, що обчислювальна техніка вдосконалюється

чи не щодня. До того ж, програмне забезпечення BASMS потребує не так уже й багато обчислювальних ресурсів».

Комп'ютерні методи управління використанням РЧР передбачають електронний обмін інформацією між відповідними автоматизованими системами.

Цьому питанню присвячено Рекомендацію МСЕ SM.668-1 [148], де, зокрема, наголошується:

«Асамблея радіозв'язку МСЕ, беручи до уваги, що:

а) адміністрації стикнулися зі зростанням кількості великих і складних проблем у сфері управління використанням спектра, зумовлених розширенням застосування існуючих і нових радіотехнологій;

б) для ефективного розв'язання проблем управління використанням спектра потрібні засоби накопичення, пошуку, збирання та аналізу даних, а отже, доводиться застосовувати комп'ютерні методи для ефективного управління використанням спектра;

с) більшість адміністрацій має лише вельми обмежений штат службовців, які виконують функції управління використанням спектра, тому вони потребують ефективних методів підвищення продуктивності їх роботи;

д) сучасні технології електронного обміну інформацією містять засоби, що забезпечують реальне підвищення продуктивності праці персоналу, але потребують відповідного планування та управління для реалізації таких переваг;

е) передавання комп'ютерних програм і даних щодо управління використанням спектра забезпечуватиме та сприятиме управлінню використанням спектра на національному рівні, а також координації між адміністраціями та з Бюро радіозв'язку (БР);

ф) такі комп'ютерні програми й дані щодо управління використанням спектра можна передавати між комп'ютерними системами різних адміністрацій і БР за допомогою існуючих засобів електрозв'язку;

г) існує безліч технологій із електронного обміну інформацією з різними можливостями й характеристиками, кожна з яких потребує розв'язання адміністративних і технічних завдань, пов'язаних із видом обраного методу електронного обміну та вимогами адміністрацій;

h) комп'ютерні програми з управління використанням радіочастотного спектра доступні завдяки фондам БР і адміністрацій та іншим джерелам згідно з Резолюцією МСЕ-Р 21;

і) багато адміністрацій успішно застосовують комп'ютерні методи для розробки й удосконалення управління використанням спектра на національному рівні;

визначаючи, що

для ефективного й успішного застосування електронного обміну даними адміністраціям необхідно використовувати як сумісні стандарти передавання, так і узгоджені на міжнародному рівні елементи даних, однаково й однозначно визначені,

рекомендує, аби:

1. Адміністрації використовували положення Керівництва з електронного обміну інформацією щодо радіочастотного спектра (див. Додаток 1).

2. Адміністрації заохочували використання засобів дистанційного доступу до комп'ютерної системи МСЕ, надаючи перевагу впровадженню системи

дистанційного введення даних про частотні присвоєння адміністрацій до бази даних БР.

3. Адміністрації заохочували використання тих самих методів збирання та перевірки правильності даних, що використовуються в БР.

4. Адміністрації могли дистанційно отримувати з бази даних БР інформацію, що стосується управління використанням спектра.

5. Системи управління базами даних, застосовувані для управління використанням спектра, мали відповідні засоби безпеки для захисту від несанкціонованого змінювання інформації.

6. Адміністрації ретельно розглядали варіанти електронного обміну доступними їм даними, виходячи з таких реалій:

- наявних комп'ютерних систем;

- вимог до майбутніх комп'ютерних систем та до управління використанням спектра;

- вимог до забезпечення захищеності інформації.

7. Адміністрації заохочували використання комп'ютерних програм із управління використанням частот та аналізу електромагнітної сумісності, доступних згідно з Рекомендацією МСЕ-Р 21».

Додаток 1 до даної Рекомендації (на 50 сторінках) містить, зокрема:

- характеристику передаваних даних, у тому числі стандарти структури даних, зокрема топографічних;

- методи пересилання;

- вимоги до обладнання та персоналу;

- конкретні режими обміну інформацією;

- питання таємності;

- особливості використання комутованої телефонної мережі загального користування для передавання даних;

- питання доступу до системи тощо.

Функціональні зв'язки між системою BASMS і системою управління використанням РЧР унаочнює рис. 7.1, з якого випливає, що система BASMS може використовуватися для підтримання більшості функціональних завдань, передбачених Довідником МСЕ з управління використанням спектра на національному рівні.

Здатність суспільства здобути максимальну користь із радіочастотного ресурсу значною мірою залежить від того, *наскільки простим є доступ користувачів до РЧР*. При цьому доступ до РЧР кожна адміністрація визначає самостійно.

Політика, пов'язана з доступністю РЧР, має бути відкритою та гнучкою, а водночас адміністративні процедури із санкціонування використання РЧР мають бути достатньо ефективними, аби забезпечити координацію та ліцензування запитуваних частот у прийнятні терміни. І хоча міру ефективності системи управління використанням спектра Довідник [3] не визначає, але вказує, що «ця міра пов'язана з тим,

- наскільки добре вона відповідає потребам держави;

- наскільки добре вона задовольняє вимоги тих, хто бажає використовувати спектр або потребує його використання, і

- наскільки добре вона захищає інтереси населення при розміщенні користувачів радіозв'язку».

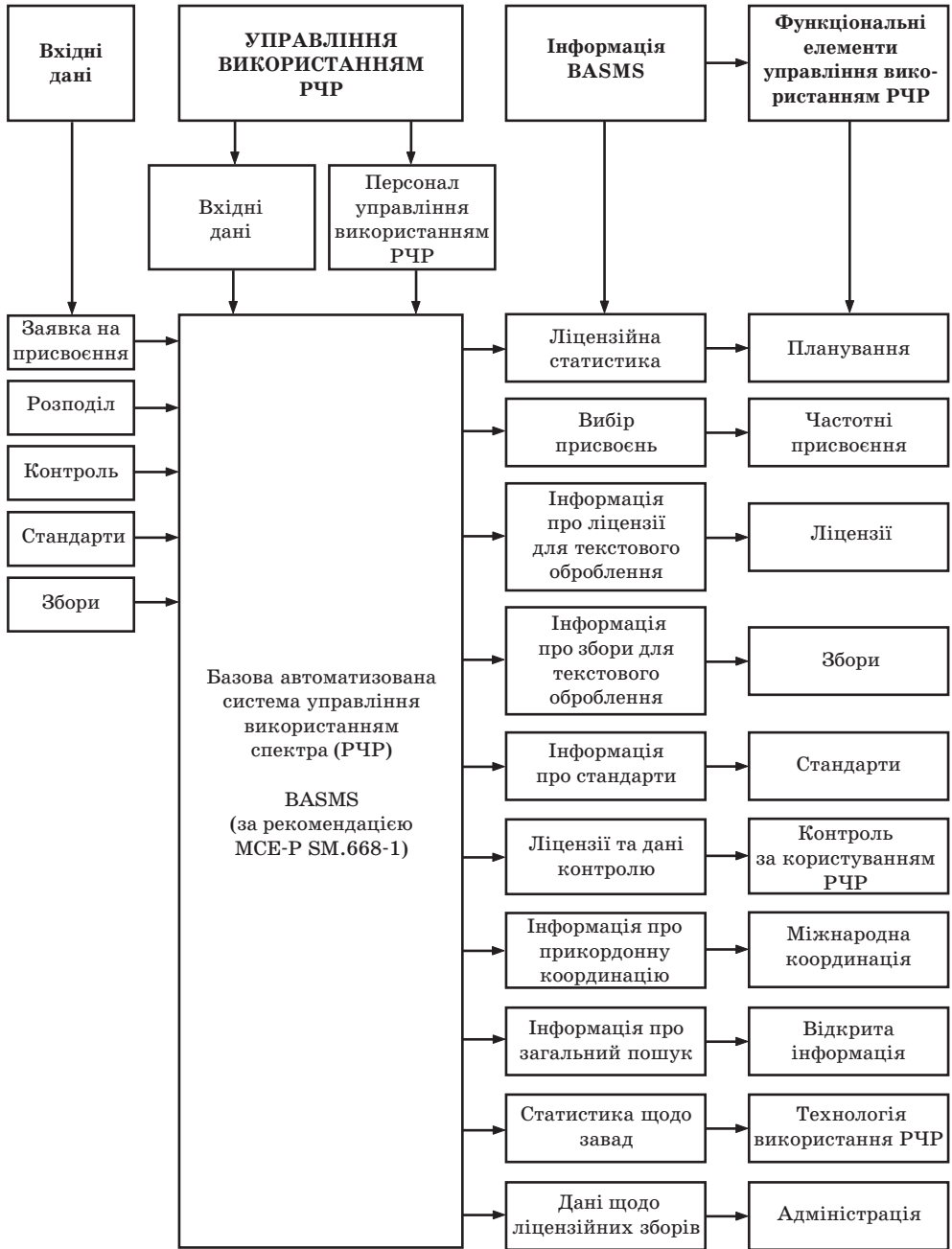


Рис. 7.1. Функціональні зв'язки між системою BASMS і управлінням використанням РЧР

У разі чітко налагодженого управління використанням РЧР користувачі й постачальники послуг зв'язку можуть витратити час і вкласти кошти, будучи впевненими в тому, що їхній діяльності не заважатимуть несподівані перешкоди. Промисловість зв'язку вироблятиме обладнання, оператори і провайдери надаватимуть послуги, а користувачі радіозв'язку придбаватимуть їх, знаючи, що радіосистеми функціонуватимуть за своїм призначенням.

Розвиток радіозв'язку, так само як і розвиток шляхів та комунальних служб чи інших елементів національної інфраструктури, базується на потребах суспільства і завжди залежить від них. Із розвитком суспільства також зростає потреба спрямовувати й регулювати використання радіозв'язку. Тут спостерігається повна аналогія із потребами служб, що забезпечують безпеку дорожнього та повітряного руху, мореплавства і т. ін.

Утім можливість управління використанням РЧР завжди має випереджувати потреби суспільства. Оновлення системи управління використанням РЧР лише тоді, коли вона вже не відповідає необхідним вимогам, неминуче призводить до втрати часу, капіталовкладень та можливостей. Іноді це означатиме, що потреби населення задовольняються недостатньо.

Управління використанням РЧР на національному рівні охоплює структури, можливості, процедури й регламентні положення, завдяки яким адміністрація регулює використання РЧР в межах своїх географічних кордонів.

Відповідно до міжнародних угод, кожний національний уряд наділений гнучкістю та свободою ухвалювати рішення на власний розсуд у питаннях регулювання використання радіозв'язку. *Кожна Адміністрація повинна розробити свої закони, а також створити організацію, здатну виконувати обов'язки з управління використанням РЧР.*

Система управління використанням РЧР розвивається у прямій залежності від рівня використання радіозв'язку в країні. Проте такою самою мірою правильно й те, що використання радіозв'язку розвиватиметься краще й швидше за умов, коли система управління використанням РЧР забезпечуватиме широку й чітку спрямованість і стабільність у використанні РЧР, значно полегшуючи користувачеві радіозв'язку доступ до РЧР.

7.2. Мета та завдання управління використанням РЧР

Ефективність управління використанням РЧР залежить від низки положень, що охоплюють:

- цілі й завдання системи управління використанням спектра;
- основні керівні принципи, що встановлюють відповідальність організацій із управління використанням РЧР на національному рівні та регулюють використання спектра;
- структуру управління використанням РЧР на національному рівні та пов'язані з нею процеси;
- конкретні функціональні обов'язки, що їх має виконувати організація з управління використанням РЧР.

Ці засадничі положення важливі за будь-якої ситуації (хоча жодні дві адміністрації зв'язку не можуть однаково здійснювати управління використанням РЧР). У разі ігнорування цих положень упровадження служб радіозв'язку ускладнюватиметься. А з урахуванням цих положень адміністрація може починати виконувати функції з детальнішого управління використанням РЧР, не полишаючи своєї повсякденної роботи, та отримувати істотний зиск із використання РЧР.

Для того, аби система управління використанням РЧР функціонувала успішно, персонал із управління використанням РЧР та користувачі РЧР, яких обслуговує система, мають уявляти собі цілі й завдання на національному рівні.

Виходячи з цілей і завдань національного рівня, фахівці з управління використанням РЧР визначають свої цілі й завдання та керуються ними у своїй діяльності, а користувачі РЧР знають свої можливості та обов'язки.

Поняття *національні інтереси* означає деякі способи визначення потреб різних користувачів спектра, що передбачають участь громадськості у процесі формування відповідної політики.

Система управління використанням РЧР має забезпечувати надання (як на коротко-, так і на довгостроковій основі) відповідного РЧР для потреб:

- організацій і служб загального користування з метою виконання ними своїх завдань;

- суспільної кореспонденції;

- ділового зв'язку у приватному секторі;

- передавання населенню радіомовної інформації;

- дослідницьких і аматорських служб тощо.

Національні завдання щодо використання РЧР зазвичай зводяться до таких положень:

- забезпечувати для персонального й ділового використання швидкий та ефективний доступ до послуг зв'язку у національному та світовому вимірах;

- сприяти нововведенням у сфері розвитку інфраструктури та надання послуг;

- слугувати цілям національної безпеки та оборони;

- захищати життя та власність;

- забезпечувати запобігання злочинності та виконання законів;

- забезпечувати роботу національних і міжнародних транспортних систем;

- сприяти збереженню природних ресурсів;

- забезпечувати поширення освітньої та загальної інформації, інформації, що становить суспільний інтерес, та розважальної інформації;

- сприяти проведенню наукових досліджень, розробок і пошуків;

- стимулювати соціальний та економічний прогрес.

Для досягнення цих цілей система управління використанням РЧР має надати впорядкований метод:

- розподілу смуг частот;

- видачі дозволів та реєстрації використання частот;

- установлення регламентних положень і стандартів, що регулюють використання РЧР;

- розв'язання конфліктів при використанні РЧР;

- представлення національних інтересів на міжнародних форумах.

Окрім національного законодавства цілі й завдання управління використанням РЧР на національному рівні часто додатково визначаються на двох інших рівнях:

а) в офіційних заявах щодо поточної національної політики та регламентних положень;

б) у довгостроковому плані — щодо використання РЧР на національному рівні.

Будь-які додаткові цілі та завдання можуть бути представлені у конкретних заявах щодо національної політики у сфері зв'язку або в регламентних положеннях, що реалізують чи пояснюють законодавчі норми. Вони дають змогу користувачам РЧР зрозуміти той підхід, який застосовуватиме фахі-

вещ із управління використанням РЧР, виконуючи свої обов'язки, а також забезпечують упевненість користувачів завдяки зазначенню термінів і особливостей відповідного процесу.

Зауважимо, що заяви стосовно політики у сфері зв'язку можуть також слугувати сполучною ланкою між програмою чинного уряду та діями фахівців із управління використанням РЧР, тоді як *стабільність у здійснюваній політиці у сфері радіозв'язку є істотним чинником для інвестування.*

Часто національний уряд делегує повноваження з установа політики у сфері радіозв'язку та регламентних положень організаціям із управління використанням РЧР (з огляду на компетентність фахівців із управління використанням РЧР у цих питаннях). Утім для здійснення власного політичного підходу національний уряд може вчинити так, щоб організаціями з управління використанням РЧР керували призначені особи з політичними повноваженнями, а спеціалістам із управління РЧР було делеговано лише повноваження щодо розробки політичних підходів та виконання рішень.

Окрім того, *цілі й завдання може бути внесено до національного довгострокового плану з використання РЧР*, в якому організація з управління використанням РЧР визначає свої дії на майбутнє.

Такий план має містити цілі й завдання щодо майбутнього використання спектра, які ґрунтуються на аналізі національних довготермінових потреб у зв'язку, розвитку технологій та можливостей із управління використанням РЧР.

Національна таблиця розподілу частот є найважливішим елементом такого плану, оскільки саме вона встановлює межі, в яких користувачі можуть ставити свої власні цілі. До плану має бути включено також заходи, які здійснюватиме організація з управління використанням РЧР. При цьому план має залишатися достатньо гнучким, аби його можна було переглянути згідно зі змінами умов використання спектра.

7.3. Функції з управління використанням РЧР

Структура з управління використанням РЧР, природно, формується на основі функцій, які вона має виконувати.

Основні функції такі:

- визначення політики з управління використанням РЧР і планування/розподілу РЧР;
- розробка національного Регламенту й Таблиці розподілу частот;
- частотно-територіальне планування;
- розробка технічних стандартів, технічних умов, іншої нормативної документації;
- сертифікація, присвоєння частот нововпроваджуваним засобам і мережам зв'язку та видача дозволів на використання обладнання (ліцензування);
- контроль використання РЧР (перевірка дотримання правил та радіоконтроль);
- інспектування обладнання в місцях його встановлення;
- технічне забезпечення використання РЧР;
- міжнародне співробітництво;
- взаємодія та консультування;
- комп'ютерне забезпечення;
- адміністративна та правова підтримка.

Адміністративна та правова підтримка неодмінно належать до функцій організації з управління використанням РЧР. Утім ці функції є спільними для будь-яких організацій, тож тут вони не розглядаються.

Організація з управління використанням РЧР може мати різну структуру — залежно від законодавства, передумов, звичаїв та ресурсів відповідної країни.

Ідеальної структури не існує. Проте вона має охоплювати наведені раніше функції. Залежно від масштабів організації деякі з цих функцій може бути об'єднано або, навпаки, розділено.

Організація (зазвичай вона діє від імені Адміністрації зв'язку) із управління використанням РЧР має оприлюднити свою структуру, аби користувачі мали доступ до неї.

Узагальнені завдання з управління використанням РЧР і взаємодію цих завдань ілюструють рис. 7.2, а, б, а дещо деталізований варіант системи управління РЧР національного рівня унаочнює рис. 7.2, в.

Нині найчіткіше визначились організаційні принципи розподілу, виділення та призначення смуг частот. Ці принципи закріплено міжнародними угодами, що становлять основу для національного законодавства в масштабах кожної країни. Законодавство у сфері використання РЧР реалізують відповідні органи.

Адміністративний аспект пов'язаний із правом розподілу й призначення робочих частот РЕЗ та можливістю маневрування в певних межах складових РЧР (смуга частот, простір, час).

РЧР може бути розподілено за різних видів розділення (рознесення) між радіозасобами:

— рознесення за частотою, коли радіозасоби можуть працювати одночасно, зокрема в одному місці, але на різних смугах частот;

— рознесення за географічним простором, коли засоби можуть працювати одночасно й в рівних за значенням смугах частот (однакових радіоканалах), але займати при цьому різні «радіопростори»;

— рознесення за часом, коли засоби можуть працювати на рівних за значенням частотах і/або займати один і той самий простір, але в різний час.

За всіх цих видів рознесення між радіозасобами з метою поліпшення використання РЧР *слід удосконалювати організаційні принципи користування ресурсом*, а також технічні характеристики засобів, що впливають на ЕМС.

У процесі управління РЧР аналіз параметрів ЕМС здійснюється за результатами їх вимірювань і теоретичних розрахунків на базі математичних моделей. При цьому враховуються численні емпіричні дані, накопичені в результаті експлуатації радіозасобів у смугах частот, у межах яких признається частота радіоканалу.

Рішення, ухвалювані щодо призначення частот, стають тим ефективнішими, чим вірогідніші й точніші дані про параметри ЕМС та щодо поширення радіохвиль за конкретних умов. *Саме тому належна увага приділяється збиранню та обробленню інформації щодо технічних чинників забезпечення ЕМС, які накопичується в результаті використання РЧР.*

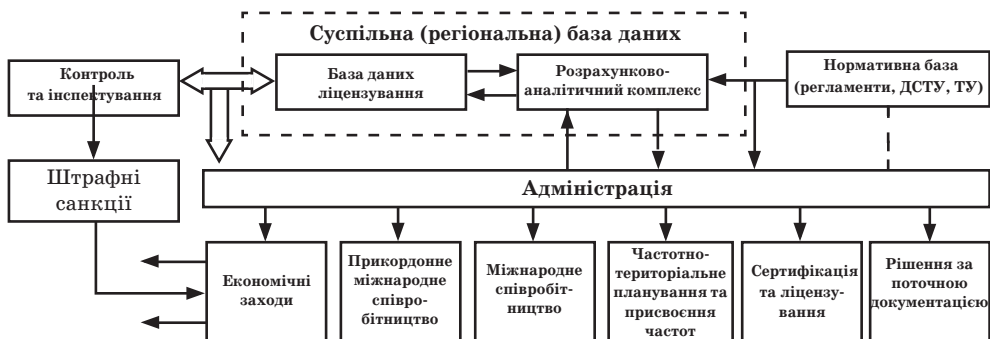
Результати збирання та оброблення інформації технічного й організаційного характеру використовуються при створенні нормативно-технічної документації (НТД).



a



б



в

Рис. 7.2. Управління використанням РЧР: узагальнені завдання (а); взаємодія цих завдань (б); деталізований варіант системи управління РЧР національного рівня (в)

При створенні національної НТД враховуються міжнародні документи (передусім — Регламент радіозв'язку та рекомендації МСЕ-Р), які в разі потреби зазнають змін, наприклад у частині ужорсточення вимог до параметрів ЕМС. Важливою складовою управління РЧР є планування та прогнозування використання РЧР.

Одним із найважливіших елементів системи управління РЧР (див. рис. 7.2, в) є загальнодержавна база даних — сукупність технічних і програмних засобів зберігання та обробки інформації щодо частотних присвоєнь РЕЗ цивільного застосування.

Інформація щодо наявних ліцензій (дозволів) РЕЗ цивільного призначення зберігається у базі даних ліцензування. Ця інформація необхідна для ухвалення рішень із питань використання спектра.

Розрахунково-аналітичний комплекс призначено для розв'язання розрахунково-аналітичних завдань частотно-територіального планування та присвоєння частот РЕЗ у рамках смуг частот, розподілених для тієї чи іншої служби Комісією з радіочастот, і здійснення аналізу ЕМС РЕЗ для всіх радіослужб наземного й космічного застосування.

Нормативна база містить:

- Регламент радіозв'язку МСЕ;
- положення національного законодавства;
- Національну таблицю розподілу радіочастот;
- План використання радіочастот;
- методика з розробки частотно-територіальних планів та присвоєння частот;
- перелік дій у разі виявлення порушень із боку користувачів РЕЗ або операторів зв'язку;
- інші необхідні документи.

Коли йдеться про складання частотно-територіальних планів, ухвалення рішення про використання частоти (смуги частот) для нового РЕЗ або мережі зв'язку, необхідна докладна інформація про технічні характеристики РЕЗ та структури мереж, уміщена в інформаційно-обліковому розділі бази даних.

Сертифікація РЕЗ є гарантією того, що параметри РЕЗ відповідають нормативним документам щодо ЕМС і електробезпеки, а також задовольняють вимоги до радіозасобу, які висуває відповідна служба.

Розв'язування завдань планування при управлінні використанням РЧР має враховувати не лише технічні чинники та специфіку роботи різних радіослужб, а й адміністративні вимоги.

Система управління РЧР (як і будь-яка система управління) має бути замкненою. Завершальною ланкою у процесі управління є система радіоконтролю та інспектування. Одним із істотних важелів, що впливають на використання спектра й забезпечують надходження коштів для вдосконалення системи управління використанням РЧР і радіоконтролю, є економічні заходи. До них можна віднести:

- плату споживачів радіочастотного ресурсу за забезпечення каналів, вільних від завад, гарантування високоякісного зв'язку;
- плату за добір і надання частоти та ліцензії (дозволу) на її використання;
- плату за сертифікацію виробів згідно з параметрами ЕМС;
- штрафні санкції за порушення правил радіообміну інформацією та недотримання умов використання та параметрів ЕМС, визначених ліцензією.

Метою економічних заходів є стимулювання споживачів РЧР до більш раціонального використання спектра та часткова компенсація витрат на управління використанням РЧР.

Взаємозв'язок факторів «багатовимірною» управління РЧР та планування унаочнює рис 7.3.

Інтеграційні процеси у сфері телекомунікацій (і, зокрема, щодо гармонізації використання РЧР) сприяють створенню баз даних (БД), що містять порівняльну інформацію стосовно розподілів і призначень частот не лише в межах держав, а й на регіональному рівні.

Так, Європейське бюро радіозв'язку (орган СЕПТ) створює БД стосовно розподілів і призначень частот у європейських країнах. Такі самі рішення ухвалено низкою країн СНД, при цьому форму подання інформації про розподіл частот між радіослужбами (структура БД) практично уніфіковано.

Такі БД функціонально корисні при розв'язуванні низки завдань, що стосуються, наприклад:

- контролю радіочастотних заявок на відповідність Таблиці розподілу і Плану використання радіочастот; за допомогою інформації щодо типу РЕЗ визначається радіослужба, якій належить заявлюваний РЕЗ; після цього для даної служби з БД здійснюється добір частотних розподілів, порівнюваних зі смугами частот, що їх виділяють для використання заявлюваним РЕЗ;

- вибору смуг частот для використання новорозроблюваним і/або таким, що ввозиться на територію країни, РЕЗ; при цьому можуть бути використані результати статистичної обробки перекриття смуг частот, виділених для різних радіослужб, для отримання на цій основі «коефіцієнтів сумісності радіослужб»; зазначені коефіцієнти можуть урахувати, наприклад, категорії смуг частот, особливості використання смуг частот тощо;

- порівняльного аналізу використання смуг частот; текстові, а особливо графічні форми подання інформації про розподіл смуг частот дають змогу виконувати наочний порівняльний аналіз їх використання різними радіослужбами в різних країнах; такий аналіз особливо корисний у тому разі, коли у структурі порівнюваної інформації присутні дані про РЕЗ, системи й радіотехнології, що використовують розглядувані смуги частот; порівняльний аналіз інформації про частотні розподіли дозволяє визначати розбіжності у використанні РЧР різними державами, що створює основу гармонізації на міжнародних форумах розподілів смуг частот для розвитку перспективних радіотехнологій.

Такі БД забезпечують можливість застосування *автоматизованих методів розв'язування завдань частотного планування*.

Схему, що унаочнює один із сучасних проектів Державної автоматизованої системи управління РЧР (Росія), наведено на рис. 7.4.

У розвиток положень Рекомендацій МСЕ-Р SM. 668-1 [148] і SM. 1048 [147] у 1998 році МСЕ-Р було ухвалено Рекомендацію МСЕ-Р SM.1370-1 [149], де сформульовано **Проектні вимоги для розробки перспективних автоматизованих систем управління використанням спектра (ASMS)**. Цінність цієї Рекомендації полягає в аргументованості викладених вимог, їхній практичній цінності та ретельності опрацювання технології (аж до навчання персоналу).

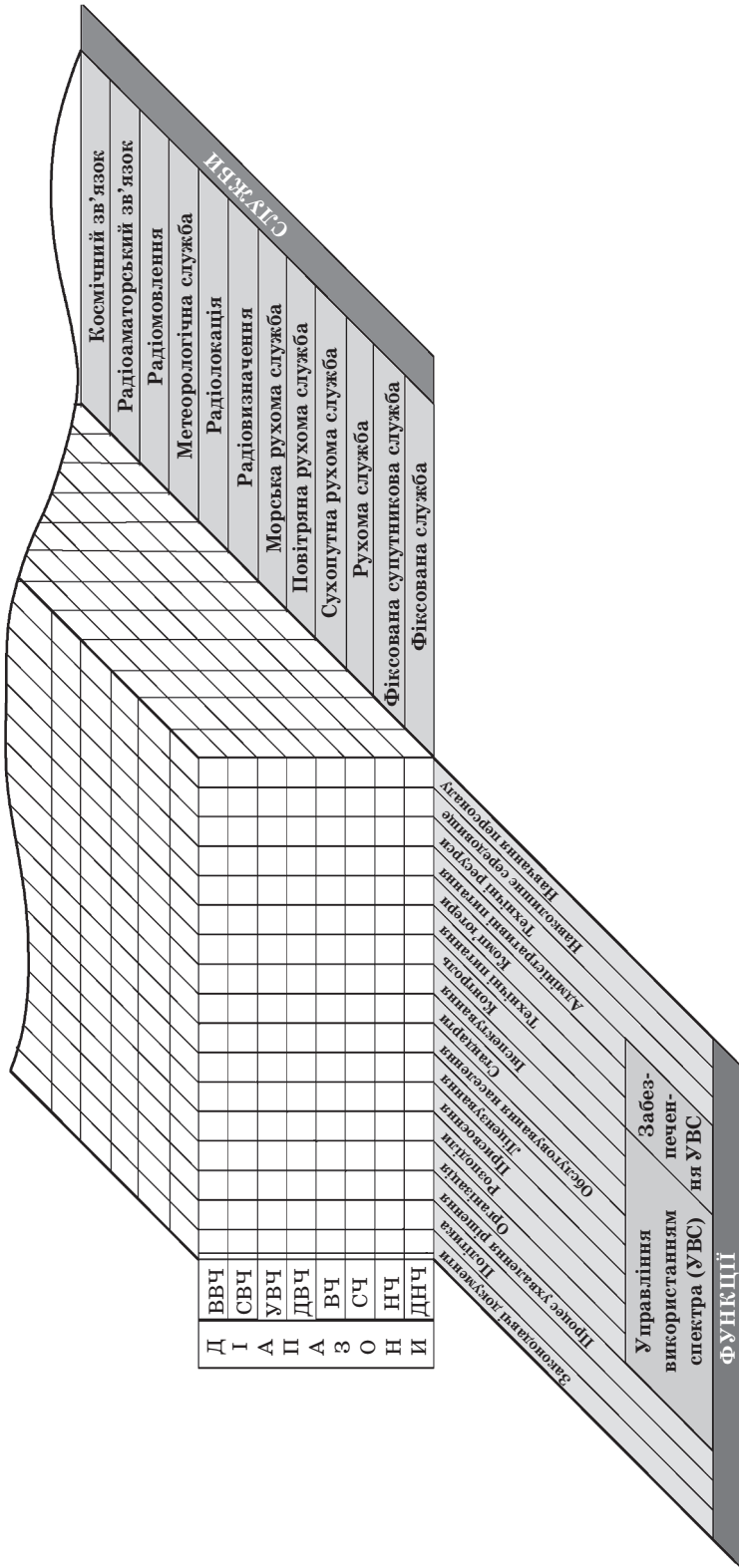


Рис. 7.3. Взаємозв'язок факторів «багаточастотного» управління та планування РЧР

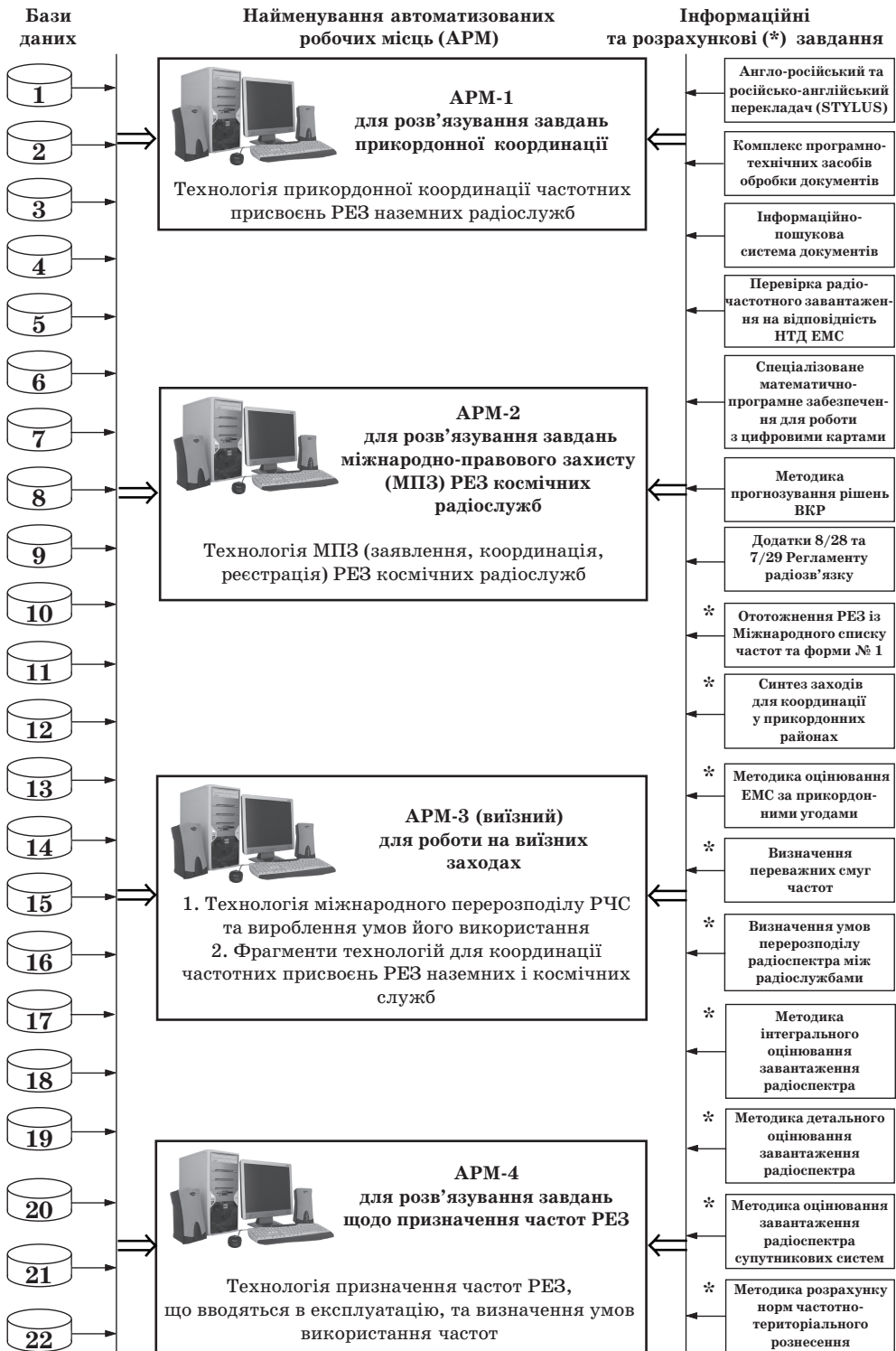


Рис. 7.4. Варіант Державної автоматизованої системи управління РЧР, що включає в себе такі бази даних: 1 — документи МСЕ, СЕРТ; 2 — Міжнародна таблиця розподілу частот; (закінчення рис. 7.4 на с. 321)

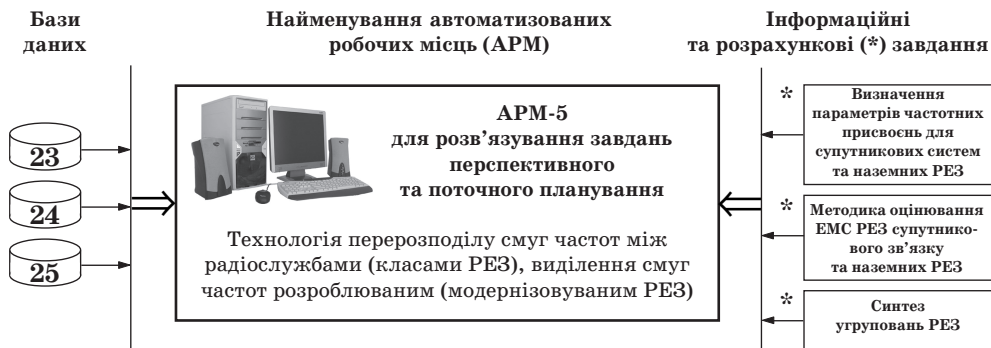


Рис. 7.4 (Закінчення):

- 3 — Національна таблиця розподілу частот; 4 — Таблиця розподілу частот СЕРТ;
 5 — Міжнародний список частот; 6 — прикордонні угоди; 7 — форма № 1 Державного комітету з радіочастот (картки тактико-технічних даних РЕЗ); 8 — форма № 5;
 9 — форма № 1 КГШ; 10 — рішення Державного комітету з радіочастот;
 11 — протоколи переговорів із координації; 12 — Державні стандарти, норми, НТД з ЕМС;
 13 — міжвідомчі норми частотно-територіального рознесення РЕЗ; 14 — відомчі норми частотно-територіального рознесення РЕЗ; 15 — завантаження радіочастотного спектра у прикордонних районах; 16 — завантаження радіочастотного спектра в територіальних районах Російської Федерації; 17 — завантаження орбіти та спектра РЕЗ супутникових систем; 18 — цифрова карта світу; 19 — цифрова карта країни; 20 — захисні відношення сигнал/завада; 21 — типові моделі радіоелектронної обстановки у спеціальних угрупованнях; 22 — радіоелектронна обстановка на території країни; частотні присвоєння радіочастотних органів; 23 — регіональний план ЕМС; 24 — центральний план ЕМС; 25 — план перспективного використання радіочастотного спектра

7.4. Альтернативні методи розподілу частот на міжнародному та національному рівнях

Нині ведуться пошуки альтернативних щодо існуючого (між радіослужбами, див. у наведеній далі цитаті п. 2) методів розподілу частот.

Так, у Рекомендації ІТУ-R SM.1133 [150]. Використання частот службами, що мають широке визначення — зазначено, що вузькі визначення для радіослужб можуть без необхідності обмежувати використання РЧР.

Положення Рекомендації ІТУ-R SM.1133 [150] набули розвитку в Рекомендації SM.1265:

«Асамблея радіозв'язку, беручи до уваги, що:

- у Регламенті радіозв'язку (РР) визначено понад 40 різних радіослужб;
- вузькі визначення для служб можуть без необхідності зменшувати гнучкість та обмежувати використання радіочастотного спектра;
- нові технології зазвичай дають змогу забезпечити роботу кількох цілком сумісних служб радіозв'язку на єдиній технологічній платформі;
- будь-які зміни в чинній структурі розподілу частот мають зазнавати всебічних перевірок та випробувань до їх ухвалення на всесвітній основі;
- такі випробування не завжди можна привести у відповідність зі Статтею 8 (S5) РР,

та визнаючи,

що п. 342 Регламенту радіозв'язку забороняє адміністраціям здійснювати присвоєння частот станціям у порушення як Таблиці розподілу смуг частот, так і інших положень РР, за винятком тих випадків, коли не утворюватимуться шкідливі завади тим службам, станції яких працюють згідно з положеннями Конвенції та Регламенту радіозв'язку,

рекомендує:

— аби адміністрації розглянули теоретичні та практичні застосування випробувань альтернативних методів розподілу частот, зазначених у післямові до Додатку 1;

— що адміністрації мають завжди проводити такі випробування згідно з положеннями Регламенту радіозв'язку, із застосуванням, зокрема, п. 342 РР, у разі, коли це необхідно.

Додаток 1. Структури розподілу радіочастот

1. Вступ

Розглядаються альтернативні структури розподілу частот із метою ефективного використання радіочастотного спектра та забезпечення гнучкого доступу до спектра для нових технологій. Ці альтернативні структури розподілу частот мають також забезпечувати подальше використання спектра існуючими системами та обмежувати завади.

2. Альтернативні структури розподілу частот

У цьому Додатку розглядаються п'ять різних підходів до розподілу частот, причому один із цих підходів використовується на практиці. За основу для оцінювання ступеня поліпшення чи погіршення, який спостерігався б у разі реалізації передбачуваних нових систем, зазначено переваги та недоліки *чинної структури*.

Розглянуто такі *нові підходи*:

- розподіли на основі типових служб;
- розподіли на основі просторових зон обслуговування;
- розподіли на основі технічних правил;
- розподіли на основі ринкових методів.

Важливо зазначити, що при розгляданні нових підходів до розподілу частот потрібно взяти до уваги нові умови забезпечення сумісності між новими групами «служб».

Метою розробки альтернативних структур розподілу частот є надання адміністраціям деякої додаткової гнучкості у процесі розподілу, а також, по змозі, спрощення регламентних положень. Ще однією метою, при цьому є зменшення обсягу та складності РР за умови гарантування можливості безперервного доступу до спектра, який нині забезпечується чинною методикою блокового розподілу із застосуванням приміток. Далі наводиться опис, перелік переваг і недоліків та приклад застосування кожної з цих можливих структур.

2.1. Чинна структура

2.1.1. За чинної структури зберігається використання чинної Таблиці розподілу частот. При цьому спектр від 9 кГц до 400 ГГц розбивається на великі смуги частот, розподілені майже 40 службам радіозв'язку згідно з Таблицею розподілу частот. Служби радіозв'язку в цій Таблиці поділяються на первинні та вторинні. Для зазначення альтернативних розподілів, їхніх змін або обмежень застосовуються примітки до Таблиці. Окрім того, у Таблиці відбито розподіл світу на три Райони, причому включено до неї плани присвоєнь і виділень частот для деяких смуг частот і служб.

2.1.2. Переваги чинної структури:

- не потрібні перехідні заходи;
- забезпечується захист розподілів існуючим службам;
- знайома адміністраціям;
- забезпечується стабільність для виробників та користувачів обладнання;
- добре відпрацьовано методи координації;
- забезпечуються стабільні умови планування для адміністрацій;
- у загальному випадку забезпечується сумісність службам зі схожими технічними характеристиками;
- забезпечуються потреби служб безпеки;
- у деяких випадках забезпечується застосування служб із широкими та вузькими визначеннями.

2.1.3. Недоліки:

- деякі розподіли відведено конкретним службам, а через це вони не мають необхідної гнучкості;
- чинні блокові розподіли не забезпечують швидкого реагування на введення нових служб;
- обмежене використання технічних характеристик у процесі розподілу;
- існуючі користувачі не мають інших механізмів для введення нових користувачів, окрім як через Всесвітню конференцію радіозв'язку;
- блоки служб із вузькими визначеннями можуть призвести до неефективного використання спектра;
- наявний спектр фрагментується згідно з кількома системно-орієнтованими розподілами та примітками в Таблиці розподілу частот.

2.2. Розподіл на основі подібних між собою служб

2.2.1. Існуючі радіослужби можна об'єднати у групи «типових» служб

Це об'єднання може ґрунтуватися на групуванні за принципом однакового використання (за розмірами робочих зон, системами та характеристиками поширення радіохвиль).

Можна використовувати різні ступені об'єднання існуючих служб. За мінімального ступеня об'єднання в одну групу можна об'єднати служби за їхніми конкретними застосуваннями (наприклад, повітряну рухому супутникову, морську рухому супутникову та сухопутну рухому супутникову службу можна об'єднати у рухому супутникову службу).

Подальше об'єднання можна здійснити, виконавши групування служб, які можуть працювати спільно або в разі взаємоприйнятних технічних умов, або в разі однакового характеру їхніх робочих зон (всесвітні, регіональні тощо). Зрозуміло, що при цьому необхідно буде розробити технічні умови та включити їх як частину умов розподілу до Статті 8 РР або скористатися посиланням на певний документ МСЕ-Р.

2.2.2. Приклад невеликої кількості типових служб

Таблиця розподілу частот може містити лише такі служби: фіксовану, рухому, радіомовну, повітряну рухому, морську рухому, аматорську, службу космічної експлуатації, службу космічних досліджень, радіолокаційну, радіонавігаційну, пасивні служби (радіоастрономічну), рухому супутникову, фіксовану супутникову, радіомовну супутникову, радіоаматорську супутникову.

У майбутньому з розвитком техніки та еволюцією служб можливе й подальше зменшення кількості подібних між собою служб (наприклад, з урахуванням тенденції в напрямку універсального персонального зв'язку та ширшого використання цифрових методів).

2.2.3. Переваги порівняно з чинною структурою:

- гнучкість щодо введення нових служб;
- менша кількість розподілених смуг частот і, можливо, методів координації;
- ефективне використання спектра;
- сприяння розвитку техніки та підприємницьким ініціативам;
- наявність міцної технічної основи.

2.2.4. Недоліки:

- зниження стабільності;
- вимога щодо дотримання службами певних технічних умов;
- імовірність ускладнення роботи існуючих служб;
- імовірність завдання збитків службам, що повільно розвиваються;
- імовірність збільшення потреби в координації.

2.3. Розподіл на основі просторового характеру служб

2.3.1. У разі розподілу частот на основі просторового характеру служб спектр поділяється з урахуванням характеру зон обслуговування застосовуваних радіосистем. Зазначені зони можуть класифікуватися таким чином:

Наземні: від пункту до пункту, від пункту до зони, від зони до пункту, від зони до зони. Термін «зона» також охоплює й поняття «багато пунктів».

Космічні: космос—Земля, Земля—космос, космос—космос.

2.3.1.1. Наземні

Від пункту до пункту	ФІКСОВАНА ДОПОМІЖНА СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГІЇ ФІКСОВАНА РУХОМА: — СУХОПУТНА — МОРСЬКА — ПОВІТРЯНА, (R), (OR)
Від пункту до зони	РАДІОМОВНА ДОПОМІЖНА СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГІЇ СТАНДАРТНИХ ЧАСТОТ ТА СИГНАЛІВ ЧАСУ РАДІОАМАТОРСЬКА РАДІОНАВІГАЦІЙНА РАДІОЛОКАЦІЙНА
Від зони до пункту	ДОПОМІЖНА СЛУЖБА МЕТЕОРОЛОГІЇ
Від зони до зони	РУХОМА: — СУХОПУТНА — МОРСЬКА — ПОВІТРЯНА, (R), (OR)

2.3.1.2. Космічна

Космос—Земля	РАДІОМОВНА СУПУТНИКОВА СУПУТНИКОВА СЛУЖБА РАДІОВИЗНАЧЕННЯ МОРСЬКА РАДІОНАВІГАЦІЙНА СУПУТНИКОВА ПОВІТРЯНА РАДІОНАВІГАЦІЙНА СУПУТНИКОВА СТАНДАРТНИХ ЧАСТОТ І СИГНАЛІВ ЧАСУ РАДІОАМАТОРСЬКА СУПУТНИКОВА РАДІОАСТРОНОМІЧНА ФІКСОВАНА СУПУТНИКОВА СЛУЖБА КОСМІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СЛУЖБА КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
Земля—космос	ФІКСОВАНА СУПУТНИКОВА СЛУЖБА КОСМІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СЛУЖБА КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СУПУТНИКОВА СЛУЖБА ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ РУХОМА СУПУТНИКОВА: — СУХОПУТНА — МОРСЬКА — ПОВІТРЯНА, (R), (OR) РАДІОАМАТОРСЬКА СУПУТНИКОВА МОРСЬКА РАДІОНАВІГАЦІЙНА СУПУТНИКОВА СУПУТНИКОВА ПОВІТРЯНА РАДІОНАВІГАЦІЙНА
Космос—космос	МІЖСУПУТНИКОВА СЛУЖБА КОСМІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СЛУЖБА КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ще однією особливістю, яку потрібно враховувати у процесі отримання доступу до спектра, є характер його використання в зоні обслуговування (зв'язок, радіовизначення, пасивні служби) та визначені технічні умови.

Такий підхід являє собою серйозну зміну та потребує ретельного розгляду з погляду переведення існуючих служб у нові рамки, оскільки використовувані нині служби можна включати до більш ніж одного розподілу на основі просторового характеру служб.

Наведений далі приклад ґрунтується на групуванні повністю зв'язкових систем за належністю до відповідного просторового типу, коли йдеться про служби, та на групуванні за принципом ліній щодо космічних систем. Після переведення існуючих радіослужб до класу служб просторового типу їх буде замінено просторовими службами. Зрештою *Таблиця замість радіослужб міститиме служби просторового типу.*

2.3.2. Переваги:

- забезпечується підвищена гнучкість при розміщенні нових служб і технологій;
- забезпечується легкий доступ до радіочастотного спектра;
- забезпечується підвищена гнучкість для адміністрацій у використанні спектра з метою задоволення їхніх конкретних потреб;
- спільне використання частот між службами наземного класу може стати питанням внутрішніх або двосторонніх переговорів;

- активно заохочується спільне використання частот;
- немає потреби в переміщенні існуючих користувачів.

2.3.3. Недоліки:

- зміни мають радикальний характер і можуть призвести до необхідності здійснення складного перехідного плану;
- критерії спільного використання частот між космічними та наземними службами лишатимуться проблемою міжнародного характеру;
- неможливість забезпечити найбільш оптимальний розподіл частот для служб космічного класу;
- можливість завдання збитків службам, що повільно розвиваються;
- можливість завдання збитків науковим службам на користь комерційних.

2.4. Розподіли на основі технічних правил

Характеристики радіосистем можна визначити з погляду їхнього рівня та припустимого розкиду. Для будь-яких двох (однакових або різних) радіосистем, що працюють одночасно в одній й тій самій географічній зоні, за такої моделі можна встановити технічні обмеження, що дозволяють експлуатацію цих систем. Для присвоєння частот можна розробити й використовувати відповідну матрицю з такими параметрами. Зазначена модель ґрунтується на характеристиках модуляції системи, ширині смуги частот, потужності передавання та параметрах антен, а також на характеристиках поширення радіохвиль — найважливіших елементах моделі ЕМС.

Методики ЕМС характеризують сигнали з погляду їхніх основних технічних параметрів, а не з точки зору їхніх конкретних функцій (служби) чи обладнання. Оскільки саме через ці фізичні величини (наприклад, потужність передавача, підсилення антени, ширина смуги частот, відстань дії тощо) визначається завада від одного сигналу іншому, то сигнали, що перебувають в одній смузі частот, можна позначити відповідним набором таких параметрів.

За такого підходу можливість спільного використання частот великою кількістю систем визначається у вигляді критеріїв спільного використання та необхідних рівнянь або за допомогою моделей ЕМС, що дають змогу визначити рівні корисного та завадового сигналів у місці розташування планованого та існуючого приймачів або на кордоні певної країни. Сам по собі цей метод не можна використовувати як окремий метод розподілу частот, але його можна застосувати спільно з будь-яким іншим методом розподілу частот для підвищення гнучкості та полегшення доступу до спектра.

Вплив упровадження нової системи/служби на будь-яку розподілену смугу частот можна оцінювати на основі технічних параметрів існуючої та пропонованих систем. Більшої гнучкості можна досягти встановленням регламентних положень, завдяки яким визначаються ті характеристики систем, які дають змогу використовувати розглядувану смугу частот. Установлення таких характеристик можна було б включити до переліку обов'язків, які виконує Сектор радіозв'язку.

Ретельно відпрацьовані методи моделювання поширення радіохвиль разом із повною та постійно оновлюваною базою даних могли б зазнавати обробки високопродуктивної комп'ютерної системи з метою точного розрахунку впливу нової передбачуваної системи. Задіявши вдосконалену техніку ведення баз даних, можна створити більш практичну систему як для стеження за

використанням смуг частот, так і для обліку значно складніших типів систем. Такі можливості в поєднанні з відповідним регламентним забезпеченням можуть посприяти досягненню бажаної гнучкості у використанні Регламенту радіозв'язку.

2.5. Ринкові методи

Відомі приклади застосування ринкового підходу до національного управління використанням радіочастотного спектра, хоча вони й насправді засвідчують існування гнучкого інструмента для забезпечення частотами нових систем на національному рівні, не можуть бути придатними для практичного втілення на міжнародному рівні. Варто також зазначити, що спрощена й гнучкіша таблиця розподілу частот може полегшити впровадження ринкових методів у межах адміністрації.

3. Висновки

Серед наведених п'яти методів лише три можна визнати технічно можливими, а саме: чинна структура, подібні між собою служби, служби просторового типу.

Такі підходи вимагають випробувань, перш ніж можна буде дійти будь-яких подальших висновків. Усі три методи можна вдосконалити, доповнивши їх технічними критеріями, які розширяють можливості спільного використання частот та підвищують ефективність їх використання в межах певного блока смуг частот. Зазначені технічні критерії містять у собі моделі ЕМС, норми щодо припустимих завад і відомості про умови поширення радіохвиль».

7.5. Координація частотних присвоєнь у прикордонних районах

Стосовно координації частотних присвоєнь для наземних радіослужб існує Рекомендація ІТУ-R SM.1049-1 [151] такого змісту:

«Асамблея радіозв'язку МСЕ, беручи до уваги, що

- a) у прикордонних районах потрібна координація частот;
- b) необхідно розробити вказівки щодо частотного суміщення у прикордонних районах;
- c) розробка зусиллями адміністрацій ефективних дво- чи багатосторонніх угод щодо використання частот у прикордонних районах сприятиме перспективному стратегічному плануванню, забезпечить ефективне використання спектра та допоможе уникнути завад;
- d) для ефективного завершення процесу координації потрібно впровадити механізм уточнення та обміну необхідною інформацією;
- e) методи координації можуть змінюватися залежно від координованих служб і смуг частот,

рекомендує:

1. Аби сусідні адміністрації укладали координаційні угоди, які мають містити в собі:

1.1. Обмін відповідними відомостями щодо управління використанням спектра з національної бази даних.

1.2. Засоби розв'язання ситуацій із виникненням непередбачених шкідливих завад.

1.3. Процедурні механізми, наприклад установа *Координаційної зони*, у межах якої застосовується координаційна угода.

1.3.1. Застосовуються такі визначення:

— *Координаційна зона* — область уздовж кордону, у межах якої застосовується координаційна угода;

— *Координаційний периметр* — лінія, що встановлює узгоджені межі *Координаційної зони*.

1.3.2. Методи визначення *Координаційного периметра* ґрунтуються на типових технічних і робочих вимогах для відповідної радіослужби.

1.3.3. Укладаючи дво- чи багатосторонні угоди щодо утворення *Координаційної зони*, адміністрації мають урахувати варіанти, наведені в Додатку 1, та приклади, наведені в Додатку 2.

Додаток 1

Як керівництво для адміністрацій, котрі готують укладання дво- чи багатосторонньої угоди щодо встановлення *Координаційної зони*, пропонуються такі кроки. При розробці будь-якої угоди адміністрації мають визначити відповідний метод її виконання.

Примітка 1. Терміни «база даних» і «модель», використовувані в цьому Додатку, не обов'язково стосуються систем на комп'ютерній основі.

1. Угоди щодо встановлення *Координаційної зони*

1.1. Глибина деталізації та питання, які включаються до дво- чи багатосторонніх угод щодо встановлення *Координаційної зони*, залежатиме від вимог конкретних адміністрацій. Утім угоди мають охоплювати як адміністративні, так і технічні положення та можуть включати в себе стандартизацію технічних і експлуатаційних параметрів.

Угоди можуть містити такі компоненти, як:

- смуга (смуги) частот, охоплювана угодою;
- дозволена ширина смуги частот служби;
- система модуляції;
- ефективна висота антени;
- обмеження зони обслуговування передавачів зоною, яку потрібно охопити;
- обмін відповідною інформацією, наприклад про зону обслуговування тощо;
- метод порівняння, стандартизації та обміну інформацією;
- метод визначення станцій, що підлягають координації;
- стадія процесу, на якій здійснюється координація.

1.2. Адміністрації мають також розглядати потреби будь-якої наявної системи, що працює в охоплюваному угодою діапазоні частот, тоді як технічні й робочі параметри її не відповідають параметрам, передбаченим угодою. Шляхи розв'язання будь-яких ускладнень, пов'язаних із наявними системами, мають розглядати адміністрації, і згідно з чинним механізмом угоди може йтися про розв'язування питань на постійній основі або в разі потреби.

1.3. У межах *Координаційної зони* адміністрації мають розглядати такі варіанти спільного використання частот:

Виділені частоти (див. примітку А) — частоти, призначені для конкретної адміністрації на виключній або переважній основі, які така адміністрація може присвоїти без попередньої координації за умови, що дотримують-

ся технічні характеристики, зафіксовані попередньою угодою.

Спільно використовувані частоти (див. примітку А) — частоти, що їх можуть спільно використовувати адміністрації без попередньої координації за умови, що дотримуються технічні характеристики, зафіксовані попередньою угодою.

Координовані частоти (найбільш застосовувані для фіксованих служб) — частоти, які може бути присвоєно лише після відповідної координації.

Виділення частот, використовувані на основі географічних мережних планів (наприклад, плани виділень для стільникових або радіомовних систем): частоти, використовувані в зацікавлених країнах на основі географічного мережного плану, розробленого й ухваленого заздалегідь, із урахуванням технічних характеристик, установлених у цьому плані.

Примітка А. Найбільш застосовні для систем із зонним покриттям, наприклад сухопутних рухомих служб у ДВЧ/УВЧ діапазоні.

2. Координаційна зона

2.1. Для служби радіозв'язку *Координаційна зона* меншого розміру може дати змогу адміністрації координувати меншу кількість частотних присвоєнь при плануванні роботи цієї служби зі збереженням імовірності завади на прийнятному рівні.

У разі уточнення карти *Координаційного периметра* адміністраціям можуть знадобитися складніші домовленості, що регулюють дію угоди, та доведеться досягти більшої точності при визначенні рівнів завад. Для уточнення карти *Координаційного периметра* та зменшення *Координаційної зони Координаційний периметр* можна встановити за допомогою методів прогнозування поширення радіохвиль. Ці методи можуть різнитися складністю та точністю застосування до реальних характеристик рельєфу місцевості та кліматичних умов.

Мета, по суті, полягає в поліпшенні «прямолінійного» підходу завдяки використанню методів прогнозування для оцінювання додаткових втрат поширення, викликаних підвищеннями рельєфу та іншими перешкодами, а також для визначення ступеня ймовірності аномальних умов поширення, які зменшуватимуть ці додаткові втрати. Може також знадобитись узгодження стратегій проведення вимірювань, за допомогою яких можна перевірити точність і застосовність методів або моделей прогнозування.

2.2. Для визначення *Координаційного периметра* потрібна взаємна угода щодо таких чинників:

— максимальної припустимої напруженості поля завади для кожної служби/смуги частот;

— максимальних значень потужності передавача, ефективної висоти антени та припустимого коефіцієнта підсилення або методу включення цих значень у обчислення;

— узгодженого методу розрахунку прогнозів;

— методів, що дають змогу кожній адміністрації перевіряти на конкретній основі правильність та прийнятність використовуваної моделі (моделей).

Для точнішої моделі може знадобитися база даних щодо характеристик рельєфу місцевості, які охоплюють відповідні ділянки території кожної адміністрації.

Окрім того, може знадобитися узгодження стратегії проведення реальних вимірювань для перевірки застосовності моделі та вірогідності обраних процедур. У цій стратегії вимірювань доведеться розглянути такі чинники:

- вибір пунктів вимірювання, де розміщуватимуться передавачі та вимірювальні приймачі;
- умови, наприклад клімат або відношення сигнал/шум, за яких вимірювання вважатимуться вірогідними;
- механізм участі у вимірювальних програмах і розв'язування будь-яких труднощів;
- тривалість вимірювання; при цьому мають враховуватися два аспекти;
- тривалість вимірювань, необхідна для підтвердження прогнозів втрат за рахунок рельєфу місцевості в разі «нормальних» кліматичних умов;
- збільшення тривалості, потрібне для оцінювання часової ймовірності того, що аномальні умови поширення значно поліпшать поширення хвиль і збільшать рівень прийманого сигналу;
- метод порівняння результатів вимірювання із моделями прогнозу та умовами, за яких застосовність і точність моделі можна вважати вірогідними.

Додаток 2

Приклад 1 (інші приклади через великий обсяг тут не наводяться).

Угода між Країною X та Країною Y щодо використання смуг частот 932...932,5 МГц і 941...941,5 МГц уздовж кордону X–Y для систем радіально-вузлового зв'язку:

1. Ця угода між Країною X, з одного боку, і Країною Y, із другого боку, стосується координації та використання смуг частот 932...932,5 МГц і 941...941,5 МГц для систем радіально-вузлового зв'язку поблизу кордону між X та Y.

2. Угода для систем радіально-вузлового зв'язку в частинах смуги 932,0...932,5 МГц та 941,0...941,5 МГц.

2.1. Незалежно від змісту інших положень цієї угоди кожна з країн має право на необмежене використання кожної зі смуг частот 932,0...932,5 МГц та 941,0...941,5 МГц повністю за межами Координаційної зони.

2.2. Координаційна зона визначається як зона, прилегла до кордону X–Y, яка просягається на 50 км вглиб кожної країни.

2.3. У Координаційній зоні частоти мають використовуватися в зазначений далі спосіб згідно з технічними критеріями, зазначеними в Додатку 1.

2.3.1. Смуги частот 932,0...932,25 МГц і 941,0...941,25 МГц — Країна Y має право на необмежене використання частот у зазначених смугах. Країна X також може використовувати ці частоти, не вимагаючи захисту, за умови що її станції не створюватимуть густини потоку потужності (ГПП), яка перевищує — 100 дБ (Вт/м²), на кордоні країни Y або за його межами у смузі частот 932...932,25 МГц, та ГПП, що перевищує — 94 дБ (Вт/м²) на кордоні країни Y або за його межами у смузі частот 941,0...941,25 МГц.

2.3.2. Смуги частот 932,25...932,50 МГц і 941,25...941,50 МГц — Країна X має право на необмежене використання частот у зазначених смугах. Країна Y може також використовувати ці частоти, не вимагаючи захисту, за умови, що її станції не створюватимуть ГПП, яка перевищує — 100 дБ (Вт/м²) на кордоні Країни X або за межами цього кордону у смузі частот 932,25...932,5 МГц, та ГПП, яка перевищує — 94 дБ (Вт/м²) на кордоні Країни X або за межами цього кордону у смузі частот 941,25...941,50 МГц.

2.4. Якщо в цій Угоді зазначено, що обмеження на густину потоку потужності можна задовольнити за рахунок географічного рознесення, то на пер-

шому етапі можна, виходячи з умов поширення у вільному просторі, визначити, чи задовольняється необхідне обмеження на густину потоку потужності.

Коли виявляється, що нове застосування не задовольняє необхідні обмеження ГПП, визначені згідно з умовами поширення у вільному просторі, то адміністрація, яка має намір використовувати відповідну частоту, має право, якщо це можливо, використовувати інші методи для того, аби продемонструвати, що необхідне обмеження ГПП насправді задовольняється. Для частот, попередньо присвоєних для використання іншою країною, обмеження ГПП мають задовольнятися в будь-якій точці на кордоні та за його межами».

7.6. Принципи управління використанням РЧР на державному (національному) рівні

Для виконання функцій управління використанням РЧР на національному рівні потрібно сформулювати й зробити *доступними громадськості певні керівні принципи*. Мета таких керівних принципів — установити правову основу управління використанням РЧР, розробити національні керівні принципи використання спектра та конкретні регламентні положення, що стосуються роботи радіослужб.

7.6.1. Закон про радіозв'язок

Закони, що стосуються використання РЧР, стають настільки ж важливими, як і закони, що регулюють земле- та водокористування. Тому питання використання та регулювання радіозв'язку мають бути охоплені національним законодавством.

Через істотну відмінність умов експлуатації та вимог щодо управління використанням РЧР адміністрації мають чітко розрізняти закон про радіозв'язок і закон, що охоплює сферу загального електрозв'язку. У районах обмеженого використання радіозв'язку, де потреба в управлінні використанням РЧР ще не є вирішальним чинником, *уряди мають передбачити зростання використання радіозв'язку та забезпечити наявність відповідної правової структури*.

Закон про радіозв'язок має бути базовим, основоположним документом, що встановлює концепції, повноваження, загальні цілі й завдання та обов'язки, але в ньому не повинні міститися докладні описи регламентних положень і процедур. У цьому законі має бути визнано наявність радіоспектра як національного ресурсу та необхідність управляти ним в інтересах усіх громадян. Тому він має встановлювати право національного уряду регулювати використання радіозв'язку, зокрема видачу дозволів на використання частот і забезпечення дотримання правил управління використанням РЧР.

Якщо закон поширюється на весь електрозв'язок, а не лише на використання радіозв'язку, то в ньому має бути чітко розмежовано радіозв'язок і провідний зв'язок і не лише делеговано повноваження з управління електрозв'язком, але й звернено особливу увагу на питання управління використанням РЧР.

Деякі системи зв'язку можуть найкраще експлуатуватися урядовими органами — національними або місцевими. Найчастіше це бувають системи, що забезпечують виконання завдань самих урядових організацій. Утім багато по-

треб суспільства можуть задовольнити комерційні підприємства або окремі особи, а якість та доступність послуг електрозв'язку можуть бути тісно пов'язані з видом діяльності та рівнем свободи, що їй надано операторам зв'язку.

Право окремих осіб володіти обладнанням радіозв'язку та експлуатувати його може бути ключовим чинником для ділових операцій, потоку загальної інформації та при проведенні досліджень.

Конкуренція серед відповідних служб радіозв'язку може сприяти зниженню вартості надання послуг цих служб.

7.6.2. Національна таблиця розподілу смуг частот

Національна таблиця розподілу частот забезпечує основу для ефективного управління використанням спектра. Вона містить загальний план використання частотного спектра, основну структуру для забезпечення ефективного використання РЧР та заходи із запобігання виникненню радіочастотних завад між службами.

Міжнародна таблиця розподілу частот (Стаття 8 Регламенту радіозв'язку) ухвалювалася МСЕ на Всесвітніх радіоконференціях для всіх трьох районів світу. Ця Таблиця становить основу для національних таблиць, а в деяких країнах її можна використовувати як Національну таблицю.

Проте в Регіональних таблицях для кожної смуги частот зазвичай передбачено низку різних служб, причому деякі з них несумісні одна з одною. Тому адміністрації можуть побажати ухвалити свою власну Національну таблицю, яка полегшить використання спектра у відповідних межах. Це можна зробити, змінивши Регіональну таблицю, обмеживши використання смуги частот лише однією службою або сумісними службами, поділивши смуги частот для конкретних служб або розподіливши смуги частот для конкретних частин співтовариства користувачів. Наприклад, у низці країн Національна таблиця поділяється на смуги частот, розподілювані урядовим органам, та смуги частот, розподілювані приватним користувачам.

В Україні РЧР поділяється на смуги частот загального користування та смуги частот спеціального користування.

Але за будь-якого національного підходу, адміністрація має враховувати те, в який спосіб смуги частот використовуються в інших країнах не лише для забезпечення сумісності зі службами в сусідніх державах, а й для того, аби мати обладнання для тієї чи іншої служби. Нехтування цим може призвести до недовикористання розподілених частот через відсутність обладнання, спроектованого для конкретної смуги частот.

7.6.3. Регламентні положення та процедури

Основним інструментарієм повсякденного управління використанням спектра є набір опублікованих регламентних положень і процедур, прийнятих фахівцями з управління використанням РЧР на національному рівні. Ці регламентні положення становлять основу *для повсякденного використання радіозв'язку* та дають змогу користувачам спектра зрозуміти, як саме відбувається управління їхніми діями.

Окрім того, регламентні положення визначають спосіб взаємодії з повноважним органом у сфері управління використанням РЧР. Необхідно, аби у процедурах було передбачено заходи щодо законного оскарження рішень, пов'язаних із ухваленням регламентних положень і процедур або із внесен-

ням до них змін. Відсутність документа, що містить такі регламентні положення та процедури, не сприятиме приватному (комерційному) використанню радіозв'язку або його розвитку операторами, які вважатимуть, що їхні інвестиції зазнають ризику через відсутність регламентної чіткості.

Регламентні положення та процедури мають охоплювати:

- стандарти;
- процедури отримання та подовження ліцензій;
- процедури видачі дозволів на використання обладнання;
- плани розподілу каналів;
- експлуатаційні вимоги тощо.

Хоча ці регламентні положення та процедури може бути видано окремо для кожної служби, *вважається більш дієвим зібрати всі застосовувані регламентні положення та процедури в одній публікації.*

Кожна адміністрація має оцінити рівень регламентування, необхідний, на її думку, для досягнення національних цілей, забезпечивши водночас необхідний захист згідно з міжнародними угодами.

7.6.4. Організаційна структура та процедури

Як уже зазначалося, згідно з національним законом про радіозв'язок повноваження та відповідальність щодо управління використанням РЧР мають делегуватися урядовому органу (органам). Від структури самого урядового органу залежатиме, яку організацію (чи організації) буде наділено повноваженнями з управління використанням РЧР, причому для кожної країни ця структура буде відмінною від інших.

Управління використанням РЧР може здійснювати один чи кілька органів. *Ідеальним випадком може вважатися один орган*, хоча політичні реалії, рівень наявних фінансових ресурсів і склад персоналу часто диктують інші підходи.

У деяких випадках для управління використанням РЧР адміністрація може призначити один орган. Такий підхід має перевагу за рахунок спрощення процесу ухвалення рішень із наданням чітких повноважень щодо ухвалення рішень та здійснення політики, яка впливає на всіх користувачів. До того ж при цьому зменшується тенденція до неефективного розділення смуг частот та користувачів.

Орган, наділений повноваженнями з прийняття рішень, функціонує найбільш раціонально, урахувуючи якомога більше вимог користувачів РЧР. Тому в інтересах фахівців із управління використанням РЧР — сприяти співробітництву, спільному використанню спектра частот та ухваленню узгоджених рішень із питань використання РЧР.

Проте дуже велика організація з управління використанням РЧР може стати громіздкою та неефективною з погляду адміністративного управління. Повноважна організація може зменшити своє навантаження та підвищити ефективність роботи, делегувавши іншим групам повноваження з управління частинами РЧР.

Деякі адміністрації можуть наділяти окремими повноваженнями з управління використанням РЧР дві або більшу кількість органів. Наприклад, одному органу може бути доручено стежити за використанням урядового радіозв'язку, а іншому — за використанням радіозв'язку в комерційному та громадському секторах.

Інший підхід, що його також використовують деякі адміністрації, полягає в роздільному управлінні використанням військового зв'язку (або інших видів зв'язку, приміром — радіомовлення).

Деякі адміністрації можуть наділяти окремими повноваженнями з управління використанням РЧР кожний урядовий орган. Але при цьому загальне використання РЧР та його ефективність можуть знизитися, оскільки кожна повноважна організація обстоює інтереси лише своєї групи й намагається захищати смуги частот, за які вона відповідає.

Чим більша кількість органів, яким надано окремі автономні повноваження та обов'язки, тим складніше координувати дії та ухвалення рішень і тим більш «роз'єднаним» стає розподіл частот.

Іноді ці групи можуть виявитися не здатними досягти спільної згоди, а тому й жодних рішень не може бути ухвалено.

Там, де створено кілька повноважних організацій, взаємодію між ними потрібно чітко визначити в регламентних положеннях, аби по змозі уникнути дублювання повноважень і відповідальності, а також виникнення патових ситуацій при ухваленні рішень.

Найпростішим підходом до такого розмежування є розділення смуг частот серед повноважних організацій із управління використанням спектра. Проте *чим більше смуг, призначених для виключного використання, тим більша можливість неефективного їх використання.* Під час пошуку найкращого способу визначення таких повноважних організацій може виявитися корисним розглядати використання радіозв'язку з погляду великих груп користувачів, пам'ятаючи про те, що чим більше розглядуваних груп, тим складніший процес координації та ухвалення рішень зі складних питань у національному масштабі.

На допомогу органу (органам) із управління використанням РЧР може бути створено координаційні групи з різними рівнями відповідальності щодо управління в межах державного або приватного сектору. Перспективні плани цих органів можна легко скоординувати завдяки створенню головної міжвідомчої координаційної групи. Такі групи часто використовуються для розв'язування основних питань, пов'язаних із використанням РЧР, а також для здійснення розподілу частот.

Незалежно від того, кому делеговано повноваження та відповідальність, відомості щодо призначень і ступеня повноважень та відповідальності мають бути опубліковані й доступні для наявних і потенційних користувачів систем радіозв'язку.

У національних керівних принципах потрібно додатково зазначити, *хто забезпечує національне представництво з управління використанням РЧР на міжнародному рівні.* Таку роль може відігравати повноважна організація з управління використанням РЧР, але не в обов'язковому порядку, оскільки її повноваження можуть не простягатися далі за державні кордони. Отже у документах, де зазначено повноважну організацію з управління використанням РЧР, також має бути зазначено, хто несе відповідальність за репрезентацію країни в МСЕ та інших організаціях.

Процедури, розроблені для розподілу радіочастотного ресурсу, присвоєння частот конкретним власникам ліцензій і контролю щодо їхньої відповідності ліцензійним умовам, є важливими державними засобами реалізації національних цілей і завдань.

Адміністративні органи, відповідальні за розробку правил і регламентних положень, що регулюють використання РЧР, мають розробити впорядковану процедуру ухвалення рішень, яка забезпечувала б регулярний і своєчасний процес управління використанням РЧР. Доволі часто такі процеси залежатимуть від залучення консультативних органів для ухвалення зважених рішень.

Якщо згідно з національними цілями передбачається участь приватних, неурядових організацій у забезпеченні служб зв'язку, що ґрунтуються на використанні радіочастотного ресурсу, то процедури ухвалення рішень із управління використанням частот на національному рівні мають *забезпечувати певний ступінь відкритості, вірогідності та передбачуваності*. Це вкрай важливо, коли приватні компанії доходять висновку, що є сенс інвестувати кошти в зазначені служби та експлуатувати останні. Вірогідності можна досягти завдяки встановленню та забезпеченню доступності й справедливого застосування процедур і критеріїв, яких додержуватимуть державні організації у процесі розподілу радіочастотного ресурсу, присвоєння частот конкретним власникам ліцензій та під час контролю щодо їхньої відповідності ліцензійним умовам.

Незалежність повноважної організації з управління використанням РЧР може стати вирішальним чинником при ухваленні рішень у національних інтересах.

Процес вироблення рішень може бути відкритим завдяки використанню структури громадського доступу, постійних консультативних органів або внаслідок зазначення сторін, яких відповідна справа торкається, та забезпечення можливості подання зауважень стосовно пропонуванних заходів. Участь у процесі ухвалення рішень може допомогти створенню атмосфери довіри та підтримки остаточних кроків. Така довіра вкрай важлива для ефективної реалізації національних цілей і завдань.

Консультативні органи можуть бути офіційно засновані повноважною організацією з управління використанням РЧР, або ця повноважна організація може спиратися на групи, створені самими користувачами.

Багато країн використовують консультативні групи, до складу яких входять представники різних урядових організацій, маючи на меті забезпечити консультації, що стосуються відповідної частини користувачів РЧР.

7.6.5. Політика у сфері управління використанням РЧР

Національний орган з управління використанням РЧР має розробляти й упроваджувати в життя політику та плани, пов'язані з використанням РЧР, ураховуючи прогрес у технологіях, а також соціальні, економічні та політичні реалії.

Національна політика у сфері радіозв'язку зазвичай пов'язана з розробкою регламентних положень, котрі, як правило, узгоджуються з установленими напрямками політики в галузі зв'язку та відповідними планами. Тому головна функція органу, відповідального за здійснення політики в галузі зв'язку та забезпечення планування — виконання досліджень із метою визначення поточних і майбутніх потреб у радіозв'язку у країні та вироблення політики, яка гарантувала б задоволення виявлених потреб за умови найбільш доцільного поєднання радіосистем, систем фіксованих мереж та кабельних систем.

Головним результатом планування та реалізації політики у сфері радіозв'язку є розподіл смуг частот різним радіослужбам. Після ухвалення рішень із розподілу частот розглядаються інші питання: стандарти, критерії спільного використання частот, плани розподілу каналів тощо.

Якщо при використанні РЧР стикаються різні інтереси, то орган з управління використанням РЧР має визначити, яке використання РЧР найповніше відповідає інтересам суспільства. **При ухваленні рішень щодо розподілу РЧР мають ураховуватися такі фактори.**

А) Питання, пов'язані з потребами населення та з отримуваними перевагами від роботи служб радіозв'язку:

— залежність даної радіослужби від радіозв'язку, а не від проводового зв'язку;

— імовірна кількість людей, які отримають переваги в результаті використання цієї служби радіозв'язку;

— відносна соціальна та економічна важливість даної служби радіозв'язку, з урахуванням безпеки життя та захисту власності;

— імовірність задіяння служби радіозв'язку та ступінь очікуваної суспільної підтримки служби радіозв'язку;

— вплив нової служби радіозв'язку на поточне фінансування у пропонованій смузі частот.

Б) Технічні міркування:

— необхідність використання службою радіозв'язку певних ділянок спектра радіозв'язку з урахуванням властивостей поширення радіохвиль та сумісності з іншими службами радіозв'язку в межах обраної смуги частот та поза нею;

— потрібна ширина смуги частот;

— рівень сигналу, необхідний для надійного обслуговування;

— відносний рівень імовірних радіозавад та інших електромагнітних завад;

— життєздатність радіотехнології (чи схвалена вона та чи наявна насправді, чи завершено її розробку або її розроблено ще не повністю).

В) Апаратні обмеження:

— практична верхня межа корисного радіочастотного спектра і загалом, якої вищої межі можна очікувати в перспективі;

— експлуатаційні характеристики передавачів, зокрема практичні обмеження на вихідну потужність, ступінь стабільності частоти та подавлення позасмугових і побічних випромінювань;

— типи антен, доступних для використання, та їхні практичні обмеження (тобто розмір, вартість і технічні характеристики), зокрема й найкращі методи забезпечення найефективнішого використання частот;

— приймачі — існуючі й такі, що перебувають у процесі розробки, враховуючи й дані щодо їхньої вибірності та практичного застосування для планованої служби.

Примітка. Вочевидь, до викладеного варто додати й таке.

Г) Економічні аспекти використання РЧР [17]. МСЕ-Р підготував Звіт SM. 2012 із цього питання «Економічні аспекти управління використанням спектра».

Одним із важелів стимулювання ефективного використання РЧР визнано його комерціалізацію.

Справді, за всіма формальними ознаками РЧР належить до поновлюваного природного ресурсу, а отже має свою вартість та ціну, за якою він має передаватися в користування споживачам. Незважаючи на його міжнародний характер, у рамках держави цей ресурс є її власністю.

Реальне наповнення ідея застосування економічних методів при управлінні та плануванні РЧР у світовій практиці знайшла у 80-х роках минулого століття, коли розпочалася істотна лібералізація у сфері електрозв'язку (та в радіозв'язку зокрема). Створення та впровадження нових технологій у галузі телекомунікацій дало змогу багаторазово збільшити перелік та обсяг послуг, які може бути надано та адекватно оплачено користувачем.

Це викликало безпрецедентне в історії електрозв'язку зростання потреб у радіочастотах (каналах радіозв'язку). Постала потреба в додаткових, неадміністративних методах підвищення ефективності використання РЧР, що стимулювали б технічний і технологічний прогрес, а також перерозподіл смуг частот і встановлювали розумний баланс між цивільним і державним (зокрема, військовим) використанням РЧР. Залежно від того, в який спосіб держава передає права на користування РЧР, можна виокремити три типи економічного підходу: адміністративний, ринковий та мішаний.

У рамках адміністративного підходу ціна РЧР визначається виключно державними органами управління для всіх користувачів (за винятком низки державних користувачів). Право на користування ділянкою спектра присвоюється конкретному заявнику без права його передання або продажу. Відповідні дозволи зазвичай видаються за принципом «перший прийшов — першим отримав», рідше — на конкурсній основі, тобто панує повний контроль держави. Отже, немає стимулів для підвищення ефективності використання РЧР, а навпаки, присутня недостатня гнучкість за умов доволі мінливої ситуації на ринку послуг, що надаються завдяки використанню спектра.

За ринкового підходу ціна РЧР визначається виключно ринковими методами. Право на користування ресурсом може бути передано різним користувачам, їм же може бути передано деякі функції з управління РЧР. При цьому отримувач ліцензії на використання смуги спектра визначається методами аукціону, лотереї, грандів або на вторинних ринках. Ринковий підхід створює ефективне фінансове джерело для забезпечення управління РЧР, стимулює розробку, створення та впровадження нових технологій, ефективне використання РЧР, гнучке реагування на технічні та економічні зміни.

За такого підходу:

— можливе виникнення проблем, пов'язаних із необхідністю забезпечити розвиток недостатньо прибуткових, але соціально значущих суспільних служб;

— існує небезпека монополізації та спекуляції у сфері використання РЧР;

— можливе виникнення проблем із міжнародною координацією частотних присвоєнь.

Мішаний підхід базується на адміністративному управлінні та контролі РЧР, але з використанням ринкового підходу в питаннях прав користувачів, ціноутворення тощо. Загальнонаціональні системи радіозв'язку та системи, що забезпечують розв'язання важливих соціальних завдань або потребують міжнародної координації, мають перебувати виключно під патронатом держави. Суто ринкові підходи мають орієнтуватися на застосування у смугах частот із високою дохідністю і, відповідно, розвинутою конкуренцією (теле-

бачення та звукове мовлення, рухома служба), а також у дуже завантажених смугах частот.

Як показує світова практика, у разі організації мішаного підходу плата за використання РЧР стягується у вигляді ліцензійних і щорічних зборів.

Ліцензійні збори. Ліцензія на право використання РЧР видається разом із ліцензією на вид діяльності. Початкова вартість ліцензії (наприклад, на аукціоні) має визначатися на підставі прогнозів щодо обсягу доходів операторів за рахунок використання РЧР, обрахованих послуг (з огляду на термін ліцензії та фактори ринку). При цьому значна частина надходжень, отриманих від проведення аукціонів (лотерей, грандів), надходить до державного бюджету, за винятком частини, необхідної для покриття витрат на проведення аукціонів, а також процедур виділення і/або присвоєння номіналів (смуг) частот.

Щорічні збори. Щорічна плата за використання РЧР має визначатися згідно з необхідністю проведення процедур управління використанням РЧР. До основних статей визначення тарифу за використання РЧР належать витрати:

- на утримання апарату управління використанням РЧР;
- проведення процедур радіоконтролю;
- виконання робіт, пов'язаних із міжнародним захистом частотних присвоєнь національним РЕЗ;
- проведення робіт із планомірної модифікації Національної таблиці розподілу частот (конверсія, перерозподіл);
- створення та впровадження нових технологій з управління та контролю над використанням РЧР, розвиток процесу управління використанням РЧР.

Окремою проблемою створення економічних важелів управління використанням РЧР є розробка нормативно-технічної бази та методик визначення вартісних показників РЧР.

Зрозуміло, що вартісні показники РЧР мають бути еластичними при зміні економічної ситуації, пріоритетів у сфері використання спектра, зміні кількості користувачів.

7.6.6. Планування використання РЧР

7.6.6.1. Цілі та важливість планування

Метою будь-яких робіт із планування є організація та концентрація ідей і дій для ефективного й реального досягнення постановлених або узгоджених цілей і завдань. Невідкладне (негайне) розв'язування питань зазвичай означає, що кращих рішень у розпорядженні немає. Планування використання спектра не становить винятку. *Найбільш доцільні рішення потребують наявності тривалої перспективи, що передбачає достатньо часу для розгляду всіх необхідних чинників.*

Планування, втім, потребує розробки процедур та обов'язків із їх виконання, оскільки кризові ситуації можуть відвернути увагу від довгострокових завдань. Як короткострокове, так і довгострокове планування абсолютно необхідне для цілей управління використанням РЧР, яке задовольняє швидко змінювані потреби у спектрі.

План заохочує до активних дій, а не обмежується лише реакцією на події, які вже сталися. Він може застосовуватися протягом певного періоду або

стосуватися події, обмеженої скінченними часовими рамками, чи може бути постійно чинним документом, що періодично оновлюється для відображення змінюваної політики або подій, які вже сталися.

Управління використанням РЧР потребує цілеспрямованості та узгодженості зусиль, що досягається плануванням (за умови, що наявні ресурси радіочастотного спектра адекватно забезпечать національні цілі та завдання).

Планування використання спектра є процесом установалення цілей управління використанням спектра на майбутнє та пропонування заходів для досягнення цих цілей. Отже, РЧР надається користувачам із урахуванням постійно зростаючих потреб у ньому, а сама система управління використанням РЧР розвивається та вдосконалюється.

Планування полегшує ухвалення рішень, створюючи основу для розгляду та оцінювання напрямків діяльності. Планування використання РЧР має забезпечувати й ураховувати основні напрямки та потреби існуючих і майбутніх користувачів спектра.

Метою планування при управлінні використанням спектра є оптимізація розміщування цих користувачів за допомогою:

- розробки й реалізації політики, правил і регламентних положень у сфері використання спектра, а також розподілу спектра радіослужбам;
- розробки й реалізації ефективної структури управління використанням спектра, політики та можливостей, що сприяють раціональному й ефективному використанню спектра;
- організації та визначення структур конкретних систем або служб.

Попереднє виявлення суперечностей у використанні спектра може допомогти ухваленню ефективних (з економічного погляду) рішень і, водночас, посприє подальшому розвитку зв'язку. Для відшукування таких рішень необхідна своєчасна розробка вдосконалених засобів управління використанням спектра.

Вдале планування є вирішальним чинником для отримання максимального економічного та соціального зиску від реалізації систем радіозв'язку.

Той факт, що перевантаження спектра може спочатку не викликати занепокоєння (наприклад, у країнах, що розвиваються), не виключає доцільності планування використання спектра з міркувань сприяння розвитку радіозв'язку. **Значення планування зростатиме з підвищенням потреб у спектрі та спрямуванням зусиль у сфері управління використанням спектра на запобігання завадам та визначення спектра для задоволення зростаючих потреб.**

Фахівці з управління використанням спектра намагаються приділяти найбільшу увагу поточним питанням. За спробами розв'язати поточні проблеми вони часто забувають приділяти увагу питанням планування, вважаючи, що планування завжди можна відкласти на майбутнє. А проте система управління використанням спектра, що сприяє економічному зростанню та задоволенню поточних потреб, безперечно вимагає такого планування.

7.6.6.2. Економічні аспекти управління РЧР

На доповнення до викладеного в п. 7.6.5 далі наведено матеріали довідника [3] із розглядуваного питання.

Будь-яка робота з управління призначена для отримання користі завдяки підготовці до майбутнього або прогнозуванню подальших заходів.

Подолання хаотичної ситуації, що може скластися через відсутність напрямків розвитку або через швидкі й часті зміни таких напрямків, призводить до великих матеріальних витрат, втрат часу та нереалізованих можливостей. Так, переведення обладнання, призначеного для роботи в одній смузі частот, в іншу може виявитися надто дорогим. Погано сплановані радіослужби з неефективним використанням частот, що зазнають впливу завад, можуть уповільнити економічне зростання та зруйнувати плани розвитку на майбутнє.

Затримки з упровадженням систем через відсутність спектра або відповідного регулювального плану можуть призвести до значних втрат для розробників системи та до втрати прибутку, що міг би забезпечуватися завдяки експлуатації цієї системи.

Як і щодо будь-якого іншого завдання, витрати визначатимуться ресурсами, наданими для виконання розробки плану. Ці витрати враховують збирання, аналіз та оновлення інформації, консультування користувачів і міжнародних представників, узгодження позицій, підготовку планів та проведення переговорів для укладання угод.

Зазвичай основним *аргументом проти планування використання спектра* є не витрати на здійснення цієї функції, а те, що використання спектра й відповідна технологія настільки динамічні, що може йтися лише про низку рішень у відповідь на ситуацію, яка склалася, або таких, що вимагають якомога швидшої реалізації. Згідно з такою аргументацією, планування неминуче буде помилковим. У свою чергу, через хибні плани доведеться зазнати витрат.

Ці причини, що спонукатимуть до перенесення радіосистем, які раніше існували, можуть стати особливо вагомими, коли нові радіосистеми даних смуг частот спектра вважатимуться дуже цінними й здатними забезпечувати можливості для швидкого розвитку служби. Такі критерії для ухвалення рішення *піддають ризику багатьох користувачів і зроблені ними інвестиції в тому разі, коли фахівці з управління використанням спектра не передбачили достатнього часу на реалізацію цих перенесень. Якщо планування не забезпечує запасу часу, то реалізація нових систем уповільниться.*

Ще одним *аргументом проти планування* є те, що рішення, пов'язані зі стислими термінами реалізації, мають перевагу, оскільки тоді в розпорядженні є більше інформації.

У цій ситуації унеможлиблюється оновлення (з боку фахівців із управління використанням РЧР) планів у міру надходження свіжої інформації, тоді як насправді будь-який процес планування, а надто довгострокового, має передбачати складання чіткого розкладу, згідно з яким здійснюватиметься регулярний розгляд та перегляд планів.

Плани не приносять користі, якщо вони надмірно жорсткі та догматичні. У настільки динамічно змінюваній сфері, як управління використанням РЧР, при створенні планів слід уникати ухвалення необоротних рішень, що призводять до певних результатів, але потребують тривалого часу для відшукування шляху досягнення цілей управління використанням РЧР.

Будь-яке зобов'язання з довгострокового планування має містити зобов'язання з виконання процедури перегляду, яка дає змогу фахівцям із управління використанням спектра регулярно коригувати плани у світлі останніх подій. Потрібно, аби фахівці з управління використанням РЧР виявляли обережність і не заважали ініціативам оператора системи та виробників

обладнання. Саме користувачі спектра та постачальники обладнання, а не фахівці з управління використанням РЧР мають визначати виготовлену продукцію, пов'язану з використанням РЧР, а також пропонувані послуги.

При складанні планів використання РЧР деякі аспекти використання та управління використанням РЧР можуть розглядатися в рамках загальної політики, тоді як щодо інших знадобиться опис конкретніших заходів. Вищий ступінь гнучкості в методах управління використанням РЧР може забезпечити можливості для нововведень і змін у напрямі розвитку зв'язку, але навіть самі методи досягнення такої гнучкості мають плануватися.

Отже, наприклад, *розробка й реалізація ширшого застосування принципів ринку та більшої гнучкості користувачів у процесі управління використанням спектра є необхідними компонентами планування РЧР.*

Планування РЧР можна поділити на категорії з погляду часу (короткострокове, довгострокове та стратегічне) і з погляду охоплених сфер (використання РЧР та системи управління використанням РЧР). Далі наведено кілька термінів і визначень, що стосуються планування використання РЧР. В інших галузях аналогічна термінологія може мати інше застосування.

Короткострокове планування — планування, під час якого розглядаються проблеми, що потребують розв'язання (або системи, які має бути реалізовано) протягом близько 5 років.

Довгострокове планування — планування, під час якого розглядаються проблеми, що потребують розв'язання (або системи, які має бути реалізовано) протягом близько 10 років.

Стратегічне планування — планування, що передбачає визначення обмеженої кількості ключових проблем, які потребують найбільшої уваги у процесі управління використанням РЧР.

Планування використання РЧР — планування, що передбачає розгляд проблем використання РЧР, тобто розподілу, присвоєння частот, розробки норм тощо.

Планування системи управління — планування, що передбачає використання РЧР, розгляд методів управління використанням РЧР, методів аналізу, організації ресурсів, застосування комп'ютерів і т. ін.

Планування служби або мережі — планування характеристик і режимів роботи конкретних систем.

Планування служби або мережі найдоцільніше залишити на розсуд відповідного оператора, а тому цей вид планування тут не розглядається.

7.6.6.3. Процедури планування

Плани використання РЧР на національному рівні охоплюють дві основні сфери: *використання РЧР та системи управління використанням РЧР.* У будь-якому разі планування потребує застосовування певних процедур, інформаційної бази для аналізу поточної ситуації та визнаного механізму ухвалення рішень.

Механізм ухвалення рішень кожної адміністрації індивідуальний. Результатом має бути встановлення комплексу завдань, а також плану або планів для реалізації заходів із управління використанням РЧР.

Плани можуть бути спеціальними або загальними. Спочатку потрібно визначити сферу дії конкретного плану. Після цього збирається інформація, на

основі якої складатиметься план. *Інформацію, потрібну для плану, належить проаналізувати, виходячи з політичних, економічних і технічних міркувань.* Потім, застосувавши механізм ухвалення рішень, організація з управління використанням РЧР має розробити й реалізувати плани використання РЧР.

Планування використання РЧР охоплює будь-яку з подій або рішень, що безпосередньо визначають, як використовуватиметься РЧР, а саме: *розподіл, політику, присвоєння, правила присвоєння та стандарти.* Дії, виконувані в кожній із цих сфер, визначають, як використовуватимуться смуги частот, як упроваджуватимуться радіослужби, а в деяких випадках — і те, які технології буде прийнято. *Національна таблиця розподілу частот, власне, і є основним документом для розроблення Плану використання РЧР.* Інші дії з планування являють собою допоміжні компоненти цієї структури.

Плани використання РЧР мають урахувати істотні зміни у використанні РЧР, появу нових технологій і служб, не відображених у чинній таблиці розподілу частот, плани користувачів щодо зміни використання частот, а також очікуване перевантаження в конкретних смугах частот або в конкретних місцях.

Довгострокові плани зазвичай охоплюють ширше коло проблем. Інформація, урахована при плануванні використання РЧР, має містити дані про поточне використання, розподіли й присвоєння частот, нові технології, майбутні потреби у використанні, а також про наявний РЧР.

Для того, щоб аналіз потреб у використанні РЧР був корисним, слід здійснити оцінювання нетехнічних (економічних і політичних) чинників. **Якщо технічні рішення відповідають усім економічним і політичним критеріям, то під час складання планів труднощів не буде.**

Якomoга частіше мають розглядатися всі компроміси. Після цього належить ухвалювати остаточні рішення та складати плани, що допоможуть адміністрації досягти визначених нею цілей. Зазвичай ці плани подаються у вигляді нових розподілів частот, політичних аспектів або правил та регламентних положень на національному рівні. У багатьох випадках плани подаються з проміжними етапами щодо їх реалізації. Плани, що не реалізуються цілком у якийсь час, передбачають можливість їх перегляду в майбутньому.

Фахівці з управління використанням РЧР повинні мати достатньо інформації для здійснення аналізу, на основі якого ухвалюватимуться рішення з планування. Визначати майбутні потреби необхідно заздалегідь (своєчасно) аби полегшити будь-які перерозподіли РЧР і засобів, пов'язаних із використанням РЧР.

Передумовою ефективного управління використанням РЧР є *складання переліку користувачів РЧР.* Таку інформацію зазвичай беруть із національного реєстру частот. Ця інформація може доповнюватися й з інших джерел.

Національний реєстр частот. Національні реєстри використання радіочастотного спектра мають бути основним джерелом для оцінювання поточного використання. Щоб уможливити ухвалення рішень, які впливають на користувачів РЧР, реєстр має забезпечувати достатній рівень технічної інформації та інформації стосовно управління використанням РЧР.

Реєстр, що включає в себе лише дані про частоти, користувачів і місцезнаходження станцій, не забезпечить достатнього обсягу інформації для розгляду більшості проблем. Часто необхідними елементами у процесі ухвалення

ня рішень є дані, що стосуються функцій, виконуваних обладнанням, витрат на реалізацію системи та докладних технічних характеристик.

У випадках, коли має враховуватися міжнародне використання, може знадобитися, аби національний реєстр було доповнено даними з Міжнародного списку частот (МСЧ).

Контроль. Контроль використання РЧР, що охоплює вимірювання зайнятості спектра, дає змогу фахівцям із управління використанням РЧР підтвердити фактичний рівень використання, пов'язаний із реєстрацією частотних присвоєнь (або отримати інформацію за відсутності реєстра частот). Отримувана за допомогою контролю використання спектра інформація про фактичне використання частот може застосовуватися *для доповнення національних реєстрів*.

При оцінюванні рівня використання РЧР необхідно враховувати тип служби. Користувачі деяких служб загального користування ставлять особливі завдання при проведенні вимірювань. З огляду на роль урядових організацій у службах аварійного радіозв'язку (або у службах, пов'язаних із обороною) вимірювання щоденного використання частот, можливо, не сприятимуть визначенню потреб цих служб у РЧР. *Тому варто виявляти обережність при спробі оцінити використання спектра за допомогою методів контролю, а результати мають критично розглядатися із урахуванням іншої інформації.*

Результати робіт із планування можуть впливати на користувачів РЧР за межами національних кордонів. У такому разі *діяльність із планування має охоплювати координацію наявної інформації та розглядуваних планів із сусідніми країнами або з міжнародним співтовариством у цілому.*

Інформація, що надходить від адміністрацій, буде різною. У деяких випадках проблема, пов'язана з таємними даними, утруднює отримання адекватної інформації.

Опитування. Опитування може здійснюватися з використанням відкритої процедури, під час якої інформація збирається через письмові запити, звернені до широких кіл громадськості, або на відкритому форумі, де можна висловити думку, чи за допомогою більш обмеженої процедури, яка передбачає прямі консультації з конкретними групами. Ці групи можуть бути постійними комітетами або групами, які спеціально збираються з конкретною метою: відповісти на запитання в межах опитування. Проте в будь-якому разі під час опитування мають ставитися запитання, пов'язані з найважливішими аспектами, що стосуються ухвалення певного рішення з планування.

Майбутнє використання. Будь-яке планування використання РЧР має відбуватися з урахуванням майбутнього національного та міжнародного використання цього ресурсу. Зрозуміло, що реєстри частотних присвоєнь і дані контролю не можуть використовуватися як джерела такої інформації.

Визначення потреб. У будь-якому разі реалізація кожної нової системи передбачає тривалі терміни, оскільки виробникам і користувачам потрібно чимало часу, аби зробити реалізацію економічно прийнятною.

Інший підхід у процесі збирання такої інформації полягає у використанні опитувань, як це зазначено в разі поточного використання. Опитування можуть здійснюватися кількома різними способами. Головна мета — отримати відповіді, які точно визначатимуть потреби в майбутньому. Для того, аби забезпечити виконання такої роботи, *виробники обладнання та користувачі мають бути готові обговорювати свої коротко- та довгострокові плани.*

У багатьох випадках *майбутнє використання РЧР має враховувати міжнародний розвиток*. Тому важливим є розгляд діяльності інших країн. Чимала частина цієї інформації міститиметься, вочевидь, у пропозиціях до конференцій радіозв'язку. І все ж корисно збирати інформацію через обговорення з представниками інших країн та за допомогою спеціальних публікацій щодо контролю.

Прогнозування. Ще одним засобом визначення майбутнього використання РЧР є прогнозування використання спектра. Такий підхід лише починає досліджуватися.

Прогнозування можна визначити як сукупність процедур та методів оцінювання потреб у РЧР, що ґрунтуються на перспективному плануванні. Воно може потягти за собою прогнозування нових технологій або напрямків зміни потреб у РЧР, а також оцінювання їхнього впливу.

Оскільки здебільшого планування передбачає певне оцінювання майбутньої ситуації, то важливо знати, якими є відповідні прогнози — визначеними й добре структурованими чи цілком невизначеними, побудованими на незаявлених і недоведених припущеннях.

Навіть ті, хто скептично ставиться до офіційних прогнозів, неодмінно формують попередні судження, що ґрунтуються на неточних, невизначених методах. Коли йдеться про застосування таких методів побудови припущень, то дані, на яких ґрунтується прогноз, чітко обумовлюються, а використовувані аналітичні методи лишаються відкритими для перегляду. Зрештою застосовувані до таких прогнозів обмеження та застереження стають набагато зрозумілишими.

Як причину відмови від використання прогнозів щодо РЧР часто зазначають стрімкі й непередбачувані технологічні зміни. Утім, великі технологічні досягнення рідко бувають без певних передумов, а головні зміни зазвичай відбуваються прискореними темпами.

При плануванні використання РЧР можуть застосовуватися *три основні джерела інформації, пов'язаної з прогнозуванням: експертні дані, аналіз напрямків розвитку та відстежування технологічних розробок.* Ці джерела доступні більшості адміністрацій.

Експертні дані пов'язані з опитуванням експертів у сфері радіозв'язку з метою отримання їхніх прогнозів. Чим більша група експертів і чим керованіший підхід до проблеми, тим цінніший отримуваний у результаті зворотний зв'язок. Адже їхні відповіді матимуть переважно інтуїтивний характер, але прогнози цих експертів можуть дати доволі чітке уявлення про майбутню діяльність із використання РЧР.

Аналіз напрямків розвитку пов'язаний здебільшого з емпіричною екстраполяцією на майбутню перспективу зафіксованих у минулому технічних показників.

Такий підхід особливо корисний, коли йдеться про розгляд зростання частотних присвоєнь у деякій зоні та про прогнозування періодів часу, коли постане потреба вживати заходів для запобігання перевантаженням ділянок спектра.

Емпіричні напрямки розвитку може бути розроблено на основі інших даних — технічних характеристик обладнання (наприклад, значень ширини смуги частот). У деяких смугах частот, призначених для сухопутної рухомої служби, робоча ширина смуги частот обладнання в нових розробках змен-

шується. Темпи такого зменшення можуть враховуватися при аналізі необхідності додаткового спектра для задоволення зростаючих потреб користувачів. Якщо можливість зменшення ширини смуги зберігається, то цей чинник може усунути потребу в наданні додаткового спектра.

Відстежування технологічних удосконалень також допоможе краще уявити майбутній розвиток. Розроблювані нині технічні новації з'являться на ринку, напевне, за кілька років. Відстежування таких розробок у відповідних публікаціях та на симпозиумах, а також контакти з адміністраціями, які здійснюють ці розробки, можуть допомогти фахівцям із управління використанням РЧР, коли розглядатиметься вплив цих розробок на використання спектра в національному вимірі.

Адаптація методів прогнозування до управління використанням РЧР потребує точного визначення кола обов'язків фахівця з управління використанням РЧР стосовно прогнозування. *Оскільки фахівці з управління використанням спектра зазвичай не опікуються розробкою техніки зв'язку, то їхня основна роль полягає в реагуванні на поточні та майбутні потреби користувачів та в управлінні використанням РЧР таким чином, аби забезпечити довгострокову оптимізацію використання спектра в національних інтересах. Відповідно, прогнозування має значною мірою базуватися на аналізі прогнозів користувачів щодо потреб у РЧР.*

Незважаючи на очевидну корисність і справжню практичну доцільність використання такого підходу, існує ризик, пов'язаний із застосуванням прогнозів користувачів, оскільки вони часто можуть бути завищеними (для отримання ширшої смуги з ресурсу частот).

Прогнози користувачів мають сприяти цілям відповідних фахівців, а фахівці з управління використанням РЧР мають лише покладатися на прогнози користувачів, які описують свої методи прогнозування та побудови припущень, а також обговорювати, наскільки помилковими можуть бути ці прогнози.

Щоб отримати корисніші прогнози, фахівці з управління використанням РЧР можуть додати власні, пов'язані з прогнозуванням оцінки до тих, що надійшли від користувачів.

Хоча для фахівців із управління використанням РЧР, вочевидь, недоцільно прогнозувати зростання потреб індивідуальних користувачів, усе ж нагромадження оцінок користувачів із поправками, що ґрунтуються на оцінках фахівців із управління використанням спектра, може забезпечити розуміння широких майбутніх потреб і допомогти в розподілі РЧР. Окрім того, фахівці з управління використанням РЧР можуть розробляти напрямки розвитку в кількісному виразі, спираючись на дані з використання РЧР для всіх своїх користувачів.

Усі прогнози є певною мірою ризикованими, але рішення щодо майбутніх потреб у спектрі можна поліпшити, урахувавши в них ретельно проаналізовані прогнози. Прогнози щодо використання РЧР, розвитку техніки, перевантаження спектра тощо можуть бути доволі корисними для управління використанням РЧР, зокрема для ухвалення рішень стосовно розподілу радіочастотного спектра.

Напрямок розвитку в міжнародному масштабі. З огляду на впровадження багатьох радіосистем у світовому вимірі міжнародні напрямки розвитку можуть бути особливо важливими для планів, що стосуються майбутнього використання.

У тих випадках, коли передбачається використання найпоширенішого обладнання, немає особливого сенсу для якоїсь однієї країни опікуватися розробкою спеціальних правил, наприклад щодо складання плану розміщення каналів, тоді як єдине доступне обладнання створюється за іншими правилами. Ці напрямки розвитку можна встановити за допомогою літературних джерел, прямих консультацій із представниками ділових кіл чи урядів інших країн або через участь у міжнародних конференціях.

Опис наявного спектра. Частиною будь-якого опису, що стосується електромагнітної обстановки, є визначення наявного спектра.

У разі застосування підходу, згідно з яким зберігаються резерви РЧР і забезпечується оновлення переліку незайнятих частот або смуг частот, цей процес може бути доволі простим.

Надалі можна спрямувати розвиток нових технологій на використання саме цих частот. Якщо цей процес не здійснюється на регулярній основі, то в ньому постане потреба при проведенні будь-якої роботи з планування.

Додаткові підходи. У процесі планування мають розглядатися (і по змозі застосовуватися) додаткові підходи. Упровадження принципів ринку у процес управління використанням РЧР, може, наприклад, знизити необхідність постійного визначення урядом кількості РЧР, яку має бути виділено тим чи іншим видам радіозв'язку, і передбачуваних користувачів, яким має бути надано зазвичай доволі цінні права на використання певної частини спектра.

Підвищення ефективності, зумовлене ринковими факторами, може зменшити потребу щодо внесення змін до частотних розподілів зусиллями фахівців із управління використанням РЧР або щодо проведення з боку таких фахівців докладного технічного аналізу, що ґрунтується на виборі частот. Більша гнучкість у процесі розподілу, присвоєння та використання частот може надати допомогу фахівцям із управління використанням РЧР, забезпечуючи більшу адаптивність процесів управління використанням РЧР до змінюваних потреб у РЧР.

Жодна система планування та прогнозування не зможе своєчасно спрогнозувати всі потреби, системи або служби так, аби полегшити їх уведення в існуючу електромагнітну обстановку.

Застосування існуючих реєстрів частот, а в деяких випадках і даних контролю для визначення маловикористовуваних або невикористовуваних ділянок спектра дасть змогу дібрати частоти для майбутнього використання. У такому разі термін «використовуваний» означає, що ділянки спектра є присвоєними. Опис таких частот являє собою **готовий до використання ресурс**.

Іншим методом підвищення гнучкості може бути резервування спектра для незаявлених потреб. У разі виникнення конфліктів наявність невикористовуваних смуг частот достатньої ширини для розміщення незапланованих застосувань (служб) дасть змогу вжити швидких і простих засобів.

Спектр може бути надано для нових систем і вилучено, якщо служба не зможе реалізуватися (наприклад, протягом року). *Одним із підходів до створення резерву частот і управління ним було б визначення смуг частот або ділянок смуг частот задовго до того, як вони стануть доступними для нових користувачів (можливо, за рахунок вивільнення ділянки спектра*

частот щорічно чи один раз на два роки в різних діапазонах спектра частот). Такий підхід застосовується в багатьох країнах.

Прикладом прийнятого періоду часу є термін у 10 років. Фактичний цикл може регулюватися часом природного старіння обладнання, установлюваним для цього діапазону частот. Це забезпечить гнучкість для впровадження нововведень і надасть користувачам, які існували раніше, час для вивільнення частот.

Небажаним наслідком практики створення довгострокових резервів доступних частот стало б зменшення ефективності використання спектра, зумовлене наявністю таких резервів на тлі зростання потреб. Але все ж *підхід до використання резервів може бути переважним, якщо він унеможливує високовартісне, незаплановане переміщення інших систем*. Рішення про переміщення існуючих користувачів заради нових використань, пов'язаних із нововведеннями, можуть призвести до великих витрат і завдати шкоди, оскільки фахівці із управління використанням РЧР не можуть забезпечити достатнього попередження про такі переміщення.

Ці витрати й завдана шкода є вагомими аргументами для існуючих користувачів, які дають змогу чинити енергійний опір спробам перерозподілу спектра, що може зупинити або істотно затримати впровадження нових служб.

При розгляді незапланованих, але соціально бажаних нових сфер застосування РЧР резерви частот можуть бути корисними для забезпечення як технічної, так і політичної гнучкості фахівців із управління використанням РЧР.

7.6.6.4. Планування системи управління використанням радіочастотного ресурсу

Плани щодо удосконалення системи управління використанням РЧР нерідко так само важливі, як і національні плани з використання РЧР.

Розробка таких планів тісно пов'язана з процесом планування використання РЧР. Спочатку слід визначити сферу дії будь-якого плану, описати наявні можливості щодо використання РЧР, виявити майбутні потреби в управлінні використанням РЧР, дослідити інші наявні технології та можливості, а далі визначити заходи з переходу від існуючого стану до ситуації, яка вважається необхідною для задоволення майбутніх потреб в управлінні використанням РЧР.

Область конкретного перегляду може охоплювати весь процес цілком. Проте вона може бути обмежена конкретною діяльністю або можливостями, такими як забезпечення обробки даних, а також бази даних.

Наявні можливості управління використанням РЧР на національному рівні потрібно переглядати на регулярній основі (аби вони могли враховувати еволюцію поточного використання та технології).

У міжнародному масштабі такий перегляд відбувався протягом 1980-х та на початку 1990-х років, коли МСЕ переглянув свою структуру й здійснив основні зміни, що дали йому змогу й надалі адекватно реагувати на національні потреби й задовольняти їх. Як інший приклад міжнародного перегляду можна навести той факт, що у 1990-х роках МСЕ створив добровільну групу експертів для розробки спрощеного Регламенту радіозв'язку.

Завершення плану в цій сфері може стимулювати процес поступового вдосконалення системи управління використанням РЧР. Наприклад, дедалі більшого значення набувають спеціальні плани з удосконалення комп'ютерних моделей, збору даних і можливостей пошуку даних.

Регулярному перегляду на національному рівні підлягають такі аспекти:

- процедура ухвалення рішень;
- регламентні процедури;
- вимоги до комп'ютерного обладнання та баз даних;
- процедура координації;
- участь у міжнародній діяльності;
- методи аналізу;
- можливості контролю;
- стандарти й процедури схвалення типового обладнання.

7.6.6.5. Реалізація планування

Планування використання РЧР може виконуватися на коротко- чи довгостроковій або на стратегічній основі.

Планування перестає бути плануванням, коли воно пов'язане з миттєвими кризами або наслідками якогось процесу. Тому першим кроком у здійсненні успішного планування є розробка визнаної процедури розгляду проблем і оновлення планів. Ця процедура має містити конкретні засоби для проведення коротко- чи довгострокового та стратегічного планування.

Короткострокові та стратегічні види планування, які передбачають розгляд конкретних або сконцентрованих проблем, не відповідають наперед складеним схемам чи формулам. Утім вони завжди мають описувати потреби, наявність ресурсів, політичні рішення та процедуру реалізації планів.

Що ж до довгострокового плану, то він зазвичай відповідає стандартизованій моделі й охоплює певні сфери.

Рішення мають ухвалюватися на основі національних пріоритетів. Тому не можуть застосовуватися прості правила, що регламентують спосіб, в який мають розглядатися окремі фактори.

Короткострокове планування (на період до 5 років). Короткострокове планування зазвичай розглядається як таке через нестачу часу на реалізацію рішень.

Оскільки система буде готовою для розгортання за кілька років, то плани мають швидко ставати чинними, а можливі варіанти обмежуються, особливо стосовно вибору смуг частот. Також неможливий, наприклад, вибір кількості існуючих рухомих користувачів на тривалий термін. Незважаючи на це, кроки з планування здійснюються.

З огляду на цю нову вимогу використання обговорюваних смуг частот має переглядатися, зокрема щодо визначення невикористовуваних або маловикористовуваних частот. Мають аналізуватися проблеми сумісності з існуючими користувачами, а зацікавлені сторони варто опитати щодо їхніх пропозицій, які стосуються найкращого підходу до розміщення нового використання.

Для надання допомоги в урегулюванні конфліктів можуть знадобитися комітети з координації або переговорів.

Для складання плану присвоєння частот можуть використовуватися аналітичні методи, наприклад моделі частотних присвоєнь.

Більшість короткострокових планів приводить до ухвалення певного документа за рішеннями, в якому зазначено обраний напрямок дій та проміжні етапи, необхідні для досягнення мети.

У разі короткострокового планування найгострішою проблемою стає негнучка електромагнітна обстановка. Тому в короткостроковому плані має встановлюватися процедура узгодження з існуючою електромагнітною обстановкою.

Довгострокове планування (на період близько 10 років). Довгострокове планування має більший ступінь гнучкості. Поточні використання спектра можуть, згідно з природним старінням обладнання, переміщуватися в інші смуги частот або змінювати місцезнаходження.

Національна таблиця розподілу частот являє собою основний довгостроковий план щодо використання спектра. Кожна адміністрація повинна мати таблицю, котру вона та її підрозділи визнають як керівництво для впровадження радіослужб.

Необхідно регулярно переглядати план, виходячи з економічних, політичних, демографічних і технічних міркувань, якщо навіть потрібно оновити не всі частини плану. *Зазвичай частини довгострокового плану оновлюються, коли їх визначено в рамках перегляду, а не тоді, коли потрібно врахувати конкретну роботу, здійснювану в організаціях радіозв'язку.*

При розробці довгострокового плану використання спектра мають ураховуватися поточні, майбутні та прогнозовані використання спектра, оскільки може знадобитися потрібним перехід деяких служб на інші частоти.

Мають переглядатися витрати, пов'язані із довгостроковим плануванням, та національні пріоритети. Необхідно враховувати напрямки розвитку сусідніх країн та комерційних партнерів. У рамках цього типу планування часто розглядаються нові підходи до процесу управління використанням спектра.

Головні аспекти довгострокового планування спектра розкриває наведений далі план.

ПЛАН ВИКОРИСТАННЯ СПЕКТРА

Цілі використання спектра, пов'язані із задоволенням потреб користувачів згідно з національною політикою, наприклад:

- безпека та забезпечення дотримання законів;
- торгівля та транспорт;
- національна безпека;
- радіомовлення;
- освіта і т. ін.

Ресурси спектра:

- Національна таблиця розподілу частот;
- маловикористовувані або невикористовувані смуги частот;
- дефіцит частот.

Потреби у спектрі:

- перелік використовуваних частот;
- майбутні потреби;
- нові технології;
- прогнози;
- міжнародні тенденції.

Доступність спектра:

- урядовий файл даних;
- дані вимірювань (радіоконтролю).

Довгострокове планування

Поточне планування

Планування — це процес, який має передувати раціональному й ефективному здійсненню будь-якої діяльності — комерційної чи державної.

Стратегічне планування. Стратегічне планування можна розглядати як прийнятний метод довгострокового планування, яке спрощує або знижує рівень зусиль, які докладаються нині з **метою визначення невеликої кількості ключових питань**, які потребують уваги при плануванні, передбачаючи водночас, що абсолютна більшість робіт може тривати згідно з поточними напрямками.

Користь від стратегічного планування полягає у зменшенні обсягу безперервних широкомасштабних робіт і в зосереджуванні уваги на невеликій кількості питань. Таким чином, стратегічне планування від довгострокового може відрізнитися процедурою визначення цих ключових питань.

При цьому знижується рівень людських ресурсів, потрібних для розробки плану, та заощаджується час (за рахунок його скорочення на розгляд нестратегічних питань).

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Якими є цілі та завдання системи управління використанням РЧР?
2. Аргументуйте можливу варіативність управління використанням РЧР.
3. Наведіть загальну характеристику автоматизованої системи управління використанням РЧР (Рекомендація МСЕ-Р 1048).
4. Аргументуйте необхідність спеціального Керівництва з електронного обміну інформацією щодо використання РЧР. Наведіть стислий зміст Керівництва.
5. Які Рекомендації МСЕ-Р стосуються змісту Закону про радіозв'язок?
6. Який зміст має Національна таблиця розподілу частот?
7. Якими є цілі розробки та публікації регламентних положень і процедури управління використанням РЧР?
8. Наведіть аргументи щодо доцільної кількості організацій, які беруть участь в управлінні використанням РЧР.
9. Якою є процедура ухвалення рішень за наявності кількох організацій, що беруть участь в управлінні використанням РЧР?
10. Якими є функції системи управління використанням РЧР?
11. Які фактори має враховувати організація, яка відповідальна за управління використанням РЧР, при проведенні перспективної політики?
12. Перелічіть органи управління у сфері РЧР України, представлені в Законі України «Про радіочастотний ресурс». Яка їхня компетенція?
13. Порядок виділення частот відповідно до нормативних актів.
14. Порядок присвоєння та ліцензування радіочастот для суб'єктів підприємницької діяльності відповідно до нормативних актів України.
15. У чому полягають правила нагляду за дотриманням ліцензіатами умов використання РЧР України?
16. Поясніть, для якого обладнання ДЦ «Укрчастотнагляд» не вимагає оформлення дозволу на придбання та використання.
17. Наведіть основні положення порядку розробки, модернізації, виробництва в Україні та ввезення в Україну з-за кордону радіоелектронних засобів і радіовипромінювальних пристроїв.
18. Наведіть основні положення реалізації (продажу) радіоелектронних засобів і радіовипромінювальних пристроїв.
19. Основні положення порядку міжнародної координації радіочастотних присвоєнь.
20. Порядок приймання заявок на усунення радіозавад. Можливість і цілі планування використання радіоспектра.
21. У чому полягає доцільність короткострокового, довгострокового та стратегічного планування використання радіоспектра?
22. Аргументуйте основні джерела інформації для прогнозування потреб у частотному спектрі.
23. Назвіть процедури планування використання радіоспектра.
24. Обов'язкові складові частини довгострокового плану використання радіоспектра.

РОЗДІЛ 8

ВИДАЧА ДОЗВОЛІВ НА ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТ І ОБЛАДНАННЯ. ЛІЦЕНЗУВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ КОРИСТУВАЧІВ ТА ПРОЦЕДУРИ СЕРТИФІКАЦІЇ РЕЗ

Частотні присвоєння мають, з одного боку, передбачати нормальну роботу наявних радіосистем, а також нових систем із зазначеними робочими характеристиками.

А з другого боку (через дедалі більший попит на використання РЧР), процедури частотного присвоєння мають забезпечувати мінімум завад між РЕЗ різних служб радіозв'язку та ефективне використання радіочастотного спектра й супутникових орбіт.

Оскільки радіочастотний спектр є природним ресурсом, користування якого не може обмежуватися жодними національними кордонами, то всі країни повинні керуватися принаймні:

- Регламентом радіозв'язку МСЕ;
- Рекомендаціями МСЕ-Р та Правилами процедури;
- відповідними внутрішніми нормативними (регламентними) документами як керівництвом при розв'язуванні проблем щодо частотних присвоєнь для різних національних радіосистем.

Нормативний документ — Документ, який установлює правила, загальні принципи чи характеристики різних видів діяльності або їх результатів [153–155].

Примітки. Нагадаємо, що поняттям «нормативний документ» охоплюються такі поняття, як стандарти, технічні умови, зводи правил, технічні регламенти, «кодекси ustalеної практики».

Стандарти підрозділяються на:

- Міжнародні (регіональні) стандарти, правила, норми й рекомендації зі стандартизації;
- державні стандарти;
- галузеві стандарти;
- стандарти підприємств (технічні умови);
- стандарти науково-технічних, інженерних товариств та інших громадських об'єднань.

Регламент — документ, що містить обов'язкові правові норми, ухвалені органом влади [154].

Стандарт — створений на основі консенсусу та ухвалений визнаним органом нормативний документ, що встановлює для загального та багаторазового користування правила, настановчі вказівки або характеристики різного роду діяльності чи її результатів і який є спрямованим на досягнення оптимального ступеня впорядкованості у певній сфері та доступним широкому колу користувачів [156].

Примітка. Міжнародні, регіональні, національні та відомчі стандарти являють собою визнані технічні правила.

Технічні умови (ТУ) — нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинні відповідати продукція, процеси чи послуги, а також процедури, за допомогою яких можна встановити дотримання даних вимог [153–156].

8.1. Стандарти та видача дозволів на використання обладнання

Розробка відповідної програми національних стандартів створює основу для запобігання завадам, а в деяких випадках — для забезпечення потрібних робочих характеристик радіосистем. Ця функція передбачає розробку процедур схвалення обладнання радіозв'язку та специфікацій відповідних стандартів — документів, що містять стандарти із припустимими технічними характеристиками, необхідними для схвалення типів радіопередавачів, радіоприймачів та іншого обладнання.

Стандарти можуть охоплювати багато аспектів конструювання радіообладнання, хоча фахівці з управління використанням РЧР мають приділяти увагу лише тій частині стандартів, що стосується технічних характеристик ЕМС. Стандарти створюють основу для спільного функціонування обладнання різних типів, обмежуючи вплив використання радіозв'язку до планованих рівнів.

У багатьох випадках, таких як повітряна навігація та системи зв'язку, обладнання має бути здатним працювати разом із обладнанням, що його експлуатують інші користувачі, а доволі часто й інші країни.

Кожна адміністрація не обов'язково має розробляти національні стандарти із самого початку. У МСЕ та Міжнародному спеціальному комітеті з радіозавод уже існує багато міжнародних стандартів, які можна використовувати як національні стандарти. Окрім того, деякі країни (групи країн) розробили власні стандарти, які свідчать про їхню ефективність у боротьбі із завадами.

Серед цих стандартів, наприклад, стандарти, розроблені Європейським інститутом зі стандартизації електрозв'язку (ETSI) та Федеральною комісією зв'язку США. Використання цих (перевіраних практикою) стандартів може полегшити розробку національних стандартів. Тому цілком природно очікувати, що більшість держав може встановлювати основну частину стандартів, не маючи необхідності в повній їх розробці з боку національного органу з управління використанням РЧР.

Розробка комплексу національних стандартів — це довгострокова робота, оскільки навіть огляд наявних національних і міжнародних стандартів для розгляду їх адміністрацією являє собою трудомістке завдання (зокрема, загальний обсяг рекомендацій МСЕ становить понад 55 тис. сторінок тексту).

Більш реалістичним слід вважати наведення посилань на наявні стандарти, що спрощує завдання адміністрації та не вимагає від фахівця з управління використанням РЧР на національному рівні змінювати національний стандарт у разі оновлення стандарту, на який зроблено посилання.

З економічного погляду стандарти мають розроблятися в такий спосіб, аби охопити якомога більшу сферу інтересів ринку. Тому малі країни та такі, що тільки починають розвивати власний радіозв'язок, марнуватимуть зусилля, коли намагатимуться розробляти стандарти, відмінні від стандартів більшості інших адміністрацій.

Деякі адміністрації можуть припустити використання будь-якого обладнання, схваленого згідно з програмами основних стандартів. Такий підхід пов'язаний із певним ризиком, оскільки частотні розподіли в усьому світі можуть відрізнятися один від одного. Обладнання, що відповідає стандартам в одній зоні, може суперечити положенням розподілу частот у іншій зоні.

Важливою складовою розробки стандартів є специфікація вимог щодо перевірки на відповідність та інших адміністративних процедур, пов'язаних із перевіркою на відповідність.

Зазвичай, *стандарти підвищують вартість продукції, оскільки за їх допомогою регламентуються певні показники* (зокрема — рівень якості).

Тому вимоги щодо випробувань і тип адміністративних процедур, пов'язаних із перевіркою на відповідність, мають бути настільки жорсткими, наскільки це потрібно. Такі процедури, як сертифікація обладнання самим виробником, мінімізують обсяг «паперової» роботи та скорочують кількість людей, зайнятих перевіркою обладнання на відповідність, завдяки чому знижується вартість обладнання.

Доцільно мати орган або підрозділ з проведення випробувань і вимірювань для перевірки обладнання на відповідність стандартам до його поставлення на ринок, за відсутності необхідних (або інших визнаних організацій), уповноважених здійснювати сертифікацію технічних характеристик.

Прийняття результатів випробувань обладнання, проведених іншими адміністраціями, може стати частиною адміністративної процедури. Багато адміністрацій дійшли висновку про те, що сертифікація обладнання самим виробником (або використання випробувальних лабораторій приватного сектору) рівносильна забезпеченню відповідності обладнання радіозв'язку застосовуваним стандартам (див. далі підрозд. 8.6).

Процес присвоєння частот передбачає аналіз вимог до пропонованих радіослужб (поряд із будь-якими відповідними дослідженнями) і власне присвоєння частот згідно з національними планами розподілу частот. Цей процес також може включати в себе належні дії із захисту систем радіозв'язку країни від потенційних завад, що їх можуть викликати частотні присвоєння іншої країни, опубліковані в Міжнародному переліку частот та в щотижневих циркулярах Бюро радіозв'язку.

Після присвоєння частоти передавальній або приймальній станції всі технічні й експлуатаційні дані, що визначають ширину спектра частот і географічну зону, займану даним присвоєнням, має бути внесено до національного реєстру частот. Цей реєстр слугує не лише як довідковий матеріал, коли йдеться про подальший вибір інших частот для використання, а й являє собою основний матеріал для вжиття ефективних заходів, потрібних для забезпечення відповідності національного планування реальним потребам багатьох різних користувачів.

Дії зі складання національного реєстру частот та його оновлення потребують ретельності; у ньому має вистачати місця для реєстрації достатньої кількості присвоєнь та всієї інформації, необхідної для чіткого й повного опису кожного частотного присвоєння. З огляду на низьку вартість програмного й технічного забезпечення рекомендується використовувати комп'ютерні бази даних для обробки й реєстрації частотних присвоєнь.

Національні організації з управління використанням частот мають заснувати спеціальний підрозділ, який відповідав би за частотні присвоєння для

нових радіосистем. Цей підрозділ має опікуватися й регламентними та технічними питаннями. Залежно від масштабів організації з управління використанням РЧР обов'язки щодо присвоєння частот мають покладатися на конкретних осіб.

Спеціальним групам з управління національної організації (організацій із відповідним мандатом) може бути доручено здійснення частотних присвоєнь системам в окремих службах. Такі групи можуть здійснювати частотні присвоєння для кількох служб, зокрема для служб, які спільно використовують окремі смуги частот. Може братися до уваги можливість присвоєння частот конкретним радіосистемам, які використовують смуги частот для різних служб або користувачів. Тому національна адміністрація сама ухвалює рішення стосовно політики щодо присвоєнь частот, а також методів, застосовуваних для забезпечення ефективного використання радіочастотного спектра.

Згідно з Регламентом радіозв'язку МСЕ, наприклад, служби сухопутного рухомого зв'язку та радіомовні служби спільно використовують кілька смуг частот, причому радіомовна служба використовує ці смуги частот на первинній основі. Користувачі, які представляють інтереси урядових органів, повинні мати пріоритет у використанні радіоспектра порівняно, наприклад, із користувачами комерційної сфери.

Координація використання спектра на національному та міжнародному рівнях є важливою сферою діяльності органу, відповідального за процес присвоєння частот.

Координація частот на національному рівні вкрай необхідна, оскільки одна й та сама смуга частот, як правило, спільно використовується радіосистемами, що належать різним користувачам. Наприклад, одні радіорелейні лінії можуть експлуатувати різні урядові організації, другі — національна адміністрація поштового, телеграфного й телефонного зв'язку, а треті — одна чи кілька приватних компаній; для всіх користувачів розподіл частот є однаковим. Процес координації має регулюватися відповідними національними правилами, а всі користувачі, причетні до того чи іншого застосування радіосистеми, зобов'язані розглянути можливість присвоєння частот для даної конкретної заявки.

Присвоєння частот має відбуватися з належним урахуванням будь-яких обмежень на їх використання. Це можуть бути обмеження на використання деяких смуг частот окремими користувачами, обмеження на випромінювану потужність у конкретних службах, що працюють у певній смузі частот, у певній географічній зоні тощо.

У деяких випадках потрібна координація частот на міжнародному рівні, оскільки РЧР є спільним ресурсом для всіх адміністрацій, і його мають використовувати разом адміністрації, радіослужби й станції. Проте водночас кожна адміністрація є автономною.

Отже, як з'ясовується, **найкращий спосіб захистити інтереси кожної адміністрації — це укласти міжнародну угоду щодо спільних правил і процедур управління використанням РЧР.** Регламент радіозв'язку МСЕ створює основу для цієї роботи. Головне завдання — уникнути неприпустимих завад між станціями різних адміністрацій. Із цією метою було узгоджено процедури з координації, аби надати адміністраціям рекомендації стосовно того, як здійснювати обмін інформацією та яких заходів слід вживати, щоб забезпечити відсутність неприпустимих завад.

Процедури координації можна поділити на три основні частини:

- *адміністративні положення;*
- *обмін інформацією;*
- *технічні розрахунки.*

Типові процедури міжнародної координації частот наведено в Регламенті радіозв'язку МСЕ. Як приклади міжнародної координації частот можна навести координацію частот для радіомовних і базових станцій сухопутного рухомого зв'язку у прикордонних зонах, координацію частот земних супутникових станцій і геостаціонарних супутникових систем тощо.

Міжнародна реєстрація національних частотних присвоєнь забезпечує міжнародне визнання для відповідної країни, а для окремих служб і частотних планів — захист роботи станцій. Найбільший інтерес для адміністрації становить реєстрація всіх її частотних присвоєнь, які, на її думку, потребують захисту від впливу завад, що їх створюють інші користувачі на міжнародному рівні. Зазвичай потрібно заявити про використання частоти на міжнародному рівні після успішного завершення координації з якоюсь іншою країною. Існує низка певних умов, коли адміністрація не просто може, а й зобов'язана заявити про своє використання радіоспектра згідно з Регламентом радіозв'язку.

Право на захист на міжнародному рівні від взаємних завад обмежується:

- а) усіма заявленими частотними присвоєннями відповідно до всесвітніх планів виділень або присвоєнь;
- б) присвоєннями частот, нижчих за 4000 кГц, згідно з Таблицею розподілів частот, що отримали позитивні висновки з погляду завад після завершення процедур координації та заявлення за Регламентом радіозв'язку;
- в) присвоєннями у ВЧ смугах для берегових радіотелеграфних станцій;
- г) визначеними станціями класу А, що використовують частотні присвоєння для фіксованої служби у ВЧ смугах;
- д) іншими присвоєннями, здійсненими за запитом до Бюро радіозв'язку про допомогу, а також використанням заделегідь визначених частот згідно з п. 1218 Регламенту радіозв'язку.

Усі інші частотні присвоєння заявляються лише для їх визнання.

Згідно з положеннями Регламенту радіозв'язку будь-яке частотне присвоєння (за певними винятками) має бути заявлено до Бюро радіозв'язку, якщо:

- а) використання даної частоти може спричинити неприпустимі завади якійсь службі іншої адміністрації;
- б) частота має використовуватися для міжнародного радіозв'язку або бажано отримати міжнародне визнання використання цієї частоти.

Процедури, що регулюють процес заявлення та реєстрації частотних присвоєнь у Міжнародному довідковому реєстрі частот, за метою їх здійснення можна загалом поділити так:

- *процедури координації;*
- *заявлення;*
- *перевірки;*
- *реєстрації.*

Процедури, яких необхідно дотримуватися, наведено у статтях Регламенту радіозв'язку.

Якщо в регіональному плані виділень радіочастот або в плані присвоєння частот необхідно мати частотне присвоєння, то відповідний план може також містити процедури координації, яких потрібно дотримуватися в разі зміни плану або коли до нього має бути внесено нове присвоєння частоти. Утім, як і раніше, необхідно заявляти про використання внесеної до плану частоти, якщо вона вводиться в дію згідно з процедурами заявлення в Регламенті радіозв'язку.

До кола обов'язків національних організацій належить також перевірка будь-яких нових пропозицій щодо використання частотного спектра або змін існуючих частотних присвоєнь, розповсюджуваних за допомогою *щотижневих циркулярів із радіозв'язку* (включно зі спеціальними розділами). Щотижневі циркуляри, які вимагають подання зауважень до певної дати, містять цю дату в публікації.

Перевірка має забезпечувати отримання зауважень до належного терміну стосовно будь-яких із цих опублікованих частотних присвоєнь на міжнародному рівні, що можуть призвести до взаємних завад існуючим або планованим національним радіослужбам.

8.2. Присвоєння частот радіостанціям

Надання або присвоєння частот становить основну частину повсякденної діяльності організації з управління використанням РЧР [3]. Орган із присвоєння частот здійснює сам чи координує проведення будь-якого аналізу, необхідного для вибору частот, які *найбільше підходять для систем радіозв'язку*, а також координує всі пропонувані присвоєння частот відносно існуючих присвоєнь.

Процес присвоєння частот має бути реалізовано так, аби використання нових частот не спричиняло завад існуючим користувачам (службам) на національному та міжнародному рівнях.

Орган видачі ліцензій (можливо, об'єднаний з органом із присвоєння частот) застосовує національне законодавство, регламентні положення, політику й процедури з управління радіозв'язком. Він також здійснює контроль роботи станцій і використання частот, застосовуючи механізми:

- вивчення заявок на отримання ліцензій і пов'язаних із ними документів для визначення можливості видачі ліцензії заявникові з правових і регламентуючих міркувань, а також із погляду технічної прийнятності пропонованого радіообладнання;

- видачі дозволів таким організаціям, як урядові, для яких ліцензія може не знадобитися;

- присвоєння позивних сигналів індивідуальним станціям;

- видачі ліцензій та стягування відповідної плати, коли це необхідно;

- подовження та анулювання ліцензій у міру необхідності;

- перевірки компетентності оператора та видачі сертифікатів операторам.

Присвоєння та ліцензування частот передбачають наявність чітко встановлених процедур, за допомогою яких передбачуваний користувач може мати доступ до певної частини спектра. У цих процедурах *слід зазначити, яка інформація має міститися в заявках на присвоєння частоти*.

Залежно від національних завдань ця інформація може стосуватися наміру використовувати спектр або лише технічних характеристик, що

дають змогу фахівцеві з управління використанням РЧР краще скоординувати діяльність багатьох своїх клієнтів.

Процедури мають формувати систему заявлення, аналізу, координації та ухвалення рішень, яка відповідає потребам користувачів. Надмірні або надто складні процедури можуть перешкоджати розвитку й упровадженню радіозв'язку. Низка адміністрацій успішно здійснила координацію присвоєнь частот за допомогою приватних підприємств.

Якщо існує ймовірність появи шкідливих завад за межами національних кордонів, то може знадобитися проведення міжнародної координації. Відтак, може постати потреба здійснити дво- або багатосторонню координацію або довести відповідну інформацію до відома МСЕ, виконавши в такий спосіб частину процедури присвоєння частот.

Записи запитів на використання спектра та отриманих погоджень мають зберігатися для майбутніх посилок. Багато адміністрацій вважають за необхідне використовувати комп'ютерні бази даних для застосування та ведення цієї інформації.

Технічний аналіз, виконуваний за допомогою комп'ютерних моделей, може бути пов'язаний із комп'ютеризованими базами даних при виборі частот для присвоєнь. Деякі адміністрації надають перевагу реалізації можливостей контролю як засобу визначення невикористовуваних частот. Хоча цей метод дуже ненадійний (адже висновок про те, що частота не використовується, робиться лише на підставі відсутності радіозв'язку за період контролю), він може бути єдино доступним методом вибору частоти, коли немає реєстраційних записів.

8.3. Технічні аспекти процедури присвоєння частот

У процедурах присвоєння частот радіостанціям може використовуватися:

а) комп'ютерна база даних (або ручна система), яка містить національний реєстр частот, тобто перелік усіх станцій, що працюють із зазначенням їхнього географічного розташування та технічних характеристик;

б) перелік частотних присвоєнь, скоординований із іншими адміністраціями;

в) топографічна база даних, яку можна застосовувати для виконання точних обчислень рівнів корисних і завадних сигналів із допусками на рельєфи трас поширення;

г) система управління використанням частот із застосуванням різних методів.

Завдання з присвоєння частот (отримання рішення повноважного органу), розв'язують згідно з алгоритмом, наведеним на рис. 8.1.

Доволі бажано, аби національні формати заявок відповідали Рекомендаціям МСЕ-Р, тобто форматам, використовуваним у щотижневих циркулярах (включаючи й спеціальні розділи) Бюро радіозв'язку, Міжнародному переліку частот та різних регіональних частотних планах.

Основна інформація, яку має бути подано для тієї чи іншої станції, складається з відомостей щодо:

а) оператора станції (адреса та ідентифікатор або позивний сигнал оператора тощо);

б) дати приймання заявки на частоту для станції, дати її введення в експлуатацію та терміну дії ліцензії;

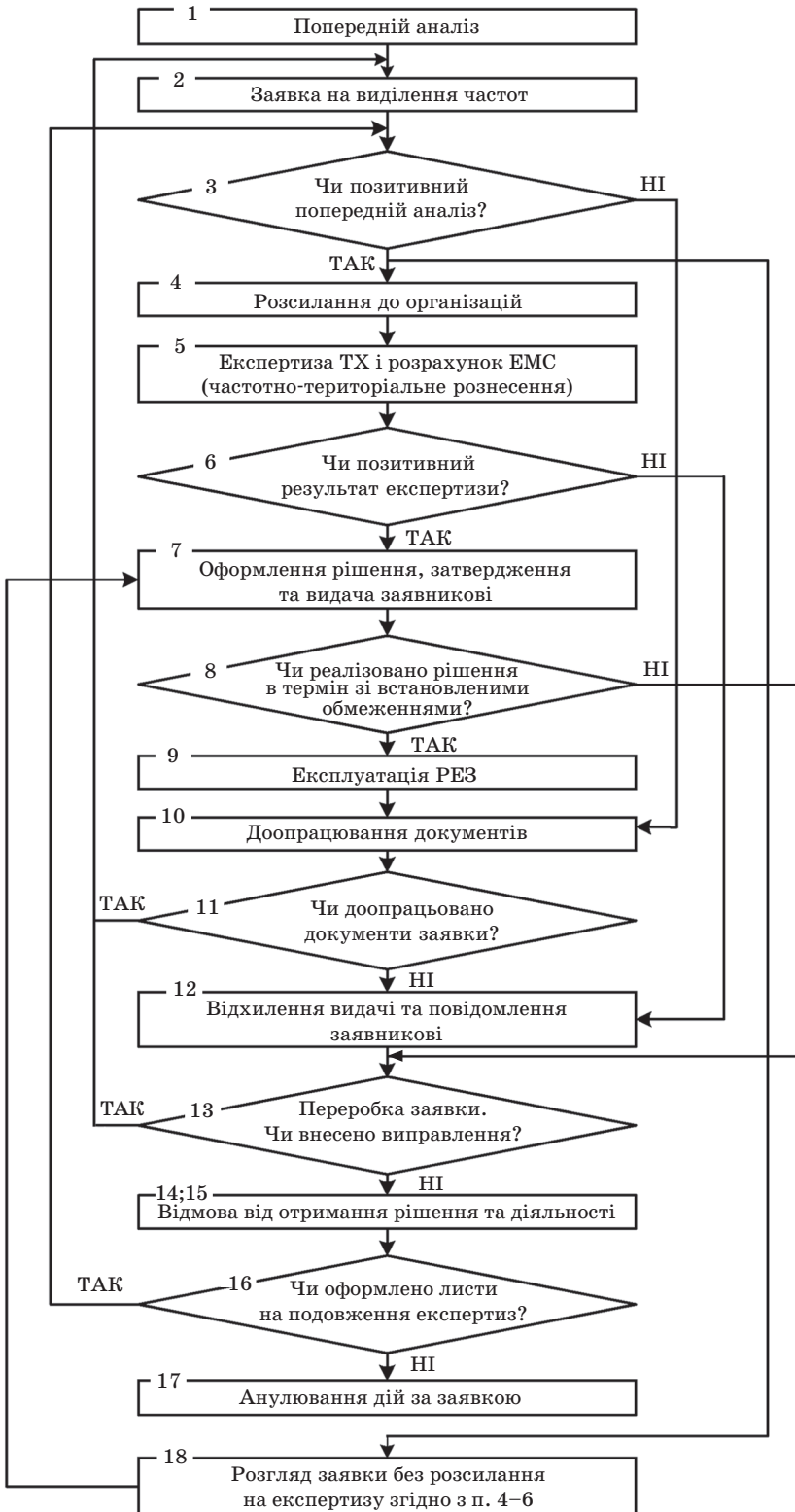


Рис. 8.1. Поетапний алгоритм розв'язання завдання з присвоєння частот

в) технічних характеристик (ТХ) конкретної передавальної станції, таких як використовувана частота (частоти), позначення випромінювання, потужність радіосигналів, тип антени (антен) та характеристики посилення і місцезнаходження, наприклад висота антени над рівнем землі та висота розташування станції над рівнем моря.

У разі супутникових служб також потрібні технічні характеристики приймальних космічних станцій:

— топографічні дані;

— дані щодо захисних відношень для радіосистем різних типів.

Питання, пов'язані з отриманням номіналів або смуг частот, необхідно розглядати, починаючи з моменту ухвалення рішення про створення системи радіозв'язку, розробку або виробництво РЕЗ чи про закупівлю іноземного РЕЗ. У такому разі заявник не лише уникне ситуацій, коли для використання плануються явно неприпустимі діапазони частот, а й істотно полегшить етап попередньої перевірки заявки на виділення радіочастот.

8.4. Ліцензування діяльності

Однією із цідей управління використанням РЧР є запобігання завадам між службами. Складовою цієї діяльності є ліцензування. Далі розглядаються питання ліцензування радіостанцій. Проте використання спектра можна звільнити від ліцензування, щоб зменшити адміністративне й економічне навантаження на користувачів.

Ліцензування — це процес надання законного права на експлуатацію обладнання (наприклад, радіостанцій) за конкретних обумовлених умов. Із цією метою в п. 2020. Регламенту радіозв'язку наголошується, що **жодну передавальну станцію не може бути встановлено без ліцензії, яку видає урядова організація країни, котрій підпорядковано цю станцію. У деяких адміністраціях право на використання приймальної радіостанції також підлягає ліцензуванню.** Діяльність із ліцензування має регулюватися в межах установлених законів.

Повноважна організація з ліцензування проводить перевірку дотримання регламентних положень і має право на вивчення впливу завад. Ліцензування може також використовуватися для накладання обмежень на виробництво, продаж, володіння та ввезення певного обладнання радіозв'язку, що може спричинювати істотні завади.

Без дисципліни, забезпечуваної системою ліцензування, радіозаводи могли б швидко досягти неприйнятних рівнів, змарнувавши будь-які інвестиції в обладнання для передавання або приймання радіосигналів. Можливості впливу радіозавод для багатьох типів застосування радіозв'язку настільки значні, що користувачі можуть надати перевагу режиму ліцензування, супроводжуваному захистом від шкідливих завад за нормальних умов роботи.

Слід передбачити можливість подовження ліцензії на період використання, який визначає адміністрація. Залежно від типу обладнання термін дії ліцензії може змінюватися. У свою чергу, від цього терміну залежить і кількість контрольних перевірок за дотриманням умов, зазначених у ліцензії.

Подовжувані ліцензії істотно впливають на використання радіочастот в майбутньому. У такий спосіб можна забезпечити прийняття нової технології, ефективнішої з погляду використання спектра.

Дані, отримані з реєстраційних записів щодо ліцензування, можна використовувати як для отримання статистичної інформації стосовно доступу до спектра, так і для визначення тенденцій у використанні спектра на національному рівні. Ці дані можна також використовувати як допоміжні для прогнозування майбутніх потреб у використанні спектра.

Окрім того, дані щодо ліцензування радіозв'язку надають неоціненну допомогу організаціям із забезпечення дотримання регламентних положень, причетним до розбирання скарг на завади, і можуть сприяти в застосуванні правових санкцій стосовно незаконних радіостанцій.

Потенційна можливість спричинювати завади пристроями малої потужності решті користувачів радіозв'язку мінімальна, якщо ці пристрої працюють відповідно до належних технічних умов. У такому разі *можна розглянути питання про звільнення від ліцензування всіх малопотужних радіопристроїв.*

Цим буде забезпечено вільніший регламентний режим для користувачів, виробників і постачальників. Користувачам не доведеться сплачувати внески або заповнювати форми заявок на ліцензування, а виробники й постачальники зможуть збувати продукцію за менш регламентованих умов. Обладнання, що потрапляє в цю категорію, може включати в себе такі пристрої, як металеві детектори, пристрої з радіоуправління моделями, протиугоні пристрої, системи тривожної сигналізації та радіотелефони.

Проте деякі малопотужні радіопристрої все ж можуть потребувати ліцензування, особливо коли деякі частоти використовуються спільно або на вторинній основі (тобто коли інші користувачі мають пріоритет у використанні цих частот).

Дозвіл на використання радіозасобів, отримуваний шляхом ліцензування, зазвичай видається на певних умовах із деякими приписами та обмеженнями. Ця процедура називається *схваленням типу обладнання*. Той факт, що тип виробу схвалено, означає, що він має відповідати зазначеним вимогам. Аналогічно звільнення обладнання від вимог ліцензування зазвичай залежить від обладнання, тип якого схвалено (або, можливо, він відповідає іншим заданим умовам, але іноді не настільки жорстким).

До вимог зі схвалення типу радіообладнання може бути додано вимогу обмеженої завадостійкості; вона може бути зручною для органів із видачі дозволів на використання радіостанцій і ефективною з економічного погляду для постачальників та виробників обладнання, забезпечуючи водночас типову експертизу ЕМС і схвалення типу обладнання.

Адміністрації можуть встановлювати плату для користувачів спектра за отримання ними ліцензій. Плата може відбивати ступінь використання спектра, а також отримувану економічну вигоду. *Рівень плати можна використати також як засіб оптимізації використання спектра.*

Можлива також низка варіантів управління системою використання спектра на національному рівні, згідно з якими можна застосувати різні механізми ціноутворення.

Один із підходів полягає в тому, що уряд може відігравати головну роль у збереженні контролю над спектром через стягування плати. Вона зазвичай встановлюється залежно від одного чи кількох наведених далі чинників:

- а) радіочастоти;
- б) обсягу використовуваного спектра, наприклад ширини смуги;
- в) використовуваних каналів (або ліній);

- г) ступеня завантаження каналу (ліній);
- д) ефективності використання спектра застосовуваного обладнання;
- е) потужності/зони охоплення;
- є) географічного розташування.

Плату за оформлення ліцензії на здійснення діяльності у сфері зв'язку вносить заявник або вповноважена особа (на підставі доручення на отримання ліцензії) до моменту видачі ліцензії. Плату може бути повернено заявникові лише в разі відмови від отримання ліцензії.

У політиці ціноутворення у сфері використання спектра частот має враховуватися й будь-яка інша політика, спрямована на забезпечення нормально функціонування економіки у країні. Політика ціноутворення також має сприяти тому, аби радіозв'язок і далі використовувався як технічна допомога в діяльності компаній усіх розмірів; ця політика має враховувати значення для країни багатьох наукових і соціальних служб, а також служб, пов'язаних із забезпеченням дозвілля, які використовують радіозв'язок. **Напевне слід також подбати про те, щоб будь-який монопольний контроль над доступом до спектра не завдавав шкоди інтересам країни, а система ціноутворення не перешкоджала появі нових користувачів спектра.**

Альтернативний підхід полягає в тому, аби уряд зменшив свою регулювальну роль завдяки виконанню одного чи кількох таких заходів.

1. Продаж прав на управління використанням спектра приватним організаціям із управлінням спектром. Приватна організація могла б на комерційній основі надавати послуги з частотного планування та здійснювати присвоєння. Це було б те саме, що й часткове передавання функцій із управління використанням спектра, виконуваних адміністрацією, приватним організаціям.

2. Передання приватним організаціям адміністративних функцій урядових органів, причому новий орган має зберігати контроль над використанням спектра для цивільних цілей за умови забезпечення захисту проти зловживання монопольною владою. Новий орган міг би також на комерційних засадах продавати або передавати на субпідрядній основі функцію управління використанням спектра.

3. Прямий продаж обраних смуг частот спектра повноважною урядовою організацією з управлінням використанням спектра.

4. Створення вторинного ринку з продажу ліцензій на роботу радіостанцій.

Для того щоб відбити всю складність процесу присвоєння частот, плату можна нараховувати окремо для кожного типу ліцензій. До розрахунків можуть включатися як прямі витрати, характерні для кожного типу ліцензій, так і непрямі витрати. Існують два важливі види непрямих витрат: витрати, пов'язані із забезпеченням роботи в рамках регламентної структури, зокрема з участю в міжнародних форумах, та інші витрати.

Прямі витрати можуть розподілятися між власниками ліцензій згідно з використовуваним обсягом спектра та тією частиною спектра, в якій працюють служби; непрямі витрати можуть розподілятися пропорційно до прямих витрат.

Для режиму ліцензування мають розроблятися процедури, які були б керівництвом для користувачів спектра й впливали на їхній вибір у такий спосіб, аби:

а) їхні заявки на доступ до спектра відбивали те значення, якого вони надають використанню спектра;

б) заявники розглядали альтернативні види зв'язку, що не обов'язково потребують доступу до радіоспектра, та уникали використання найбільш «перевантажених» частот;

в) існуючі користувачі вивчили свої потреби у спектрі та відмовлялися від надмірного використання спектра;

г) нові користувачі й нова техніка забезпечували більші можливості доступу до радіоспектра.

Будь-яка система зі встановлення плати має враховувати свій вплив на конкретні служби. Необхідно вжити певних заходів для забезпечення того, аби у відносинах користувачів спектра, які надають різні, але такі, що конкурують між собою, послуги, не застосовувалися різні способи ціноутворення. Проте необхідно усвідомлювати, що ризик полягає в тому, що постачальники радіопослуг можуть перекласти плату на клієнта (подібно до того, як вартість упроваджуваних ресурсів, оплачувана цими службами, включається у плату, яка нараховується клієнтові).

Адміністративне управління ліцензуванням відіграє важливу роль у будь-якій добре структурованій організації з управління використанням спектра, а також *здійснює контроль роботи станцій і використання частот за допомогою:*

- вивчення заявок на отримання ліцензій і пов'язаних з ними документів для визначення можливості видачі ліцензії заявникові з правового й регламентного погляду та технічної прийнятності пропонуваного радіообладнання;

- видачі дозволів організаціям, яким ліцензія може не знадобитися, таким як урядові організаціям;

- присвоєння позивних сигналів індивідуальним станціям;

- видачі ліцензій і стягування відповідної плати;

- подовження та анулювання ліцензій;

- перевірки компетентності операторів і видачі сертифікатів оператора.

Будь-який власник ліцензії на використання спектра повинен додержувати низки вимог (конкретні радіослужби можуть мати обов'язкові вимоги, характерні для даної служби):

а) робота радіослужби без ліцензії має розглядатися як правопорушення, якщо тільки цю службу не звільнено від ліцензування;

б) усі зміни, пов'язані з радіослужбою, має спочатку санкціонувати повноважна організація з управління використанням частот; детально викладені зміни власник ліцензії має передати повноважній організації з управління використанням частот;

в) власник ліцензії має забезпечити, щоб будь-які особи, які експлуатують радіостанцію (радіостанції), додержували умов ліцензії;

г) у разі потреби всі повідомлення мають починатися та закінчуватися позивними сигналами;

д) ліцензія може містити формулювання умов, що стосуються ЕМС, завадостійкості та заходів із забезпечення безпеки, зокрема внутрішньої безпеки обладнання;

е) ліцензія може містити зауваження щодо дотримання стандарту на обладнання та щодо технічного обслуговування за допомогою системи забезпечення якості;

є) до умов ліцензування може бути включено також питання стосовно відповідності технічному стандарту на майданчик для станцій.

Проектування майданчика для радіостанції. У тих місцях, де зосереджено кілька радіостанцій, що складаються з передавачів та відповідних антен, розміщених на одній щоглі, слід подбати про те, аби не присвоювати частоти, які можуть спричинювати завади іншому обладнанню, установленому на цій щоглі, або іншому обладнанню, розташованому поблизу.

Завади іншим користувачам РЧР можуть виникати з таких, зокрема, причин:

а) виникнення інтермодуляційних складових або на виході передавача, або на вході приймача;

б) побічне випромінювання від передавачів і/або приймачів;

в) блокування приймача.

Ці труднощі можна подолати кількома способами. (Викладене далі доповнює та конкретизує матеріал підрозд. 4.1 і 4.2).

Коли на робочому майданчику розміщується багато установок і кілька щогл, то вибір частоти (частот) має велике значення в тому разі, коли необхідно уникнути утворення інтермодуляційних складових. Коли з'ясується, що альтернативний вибір частоти (або частот) неможливий, то може знадобитися подавлення випромінювань інтермодуляційних складових шляхом увімкнення фільтра між передавачем і його антеною.

Практично на тих майданчиках, де використовується багато частот, може бути нелегко розпізнати явне джерело завад. Окрім того, випромінювання інтермодуляційних складових може мати амплітуду, достатню для того, аби утворювати завади на сусідніх майданчиках.

Уникнути завад можна зменшенням потужності передавача (що використовує дуже високий рівень потужності); цей передавач зазвичай є головним джерелом завад на майданчику.

Аналогічно можна боротися із завадами, збільшуючи вертикальну відстань між антенами й послаблюючи тим самим взаємодію з передавачем, який створює інтермодуляційні складові.

Може бути корисним застосування схеми, згідно з якою **фахівці з управління використанням спектра і/або власники майданчиків зобов'язані визначати ймовірність виникнення інтермодуляційних складових раніше, ніж буде дозволено використати нову частоту.** Це може мати важливе економічне значення для потенційних користувачів частот на майданчику, де вже працює багато радіостанцій, особливо якщо в обладнанні мають виконуватися зміни.

Із метою забезпечення можливості окремим особам експлуатувати або здійснювати технічне обслуговування радіопередавальної апаратури **адміністрація може вимагати проведення перевірки компетентності операторів для видачі ліцензій.**

Окрім того, у Конвенції з охорони людського життя на морі та в Регламенті радіозв'язку наголошується, що за певних умов лише особи, які мають ліцензії, можуть або експлуатувати, або нести відповідальність за радіовипромінювання передавачів.

Зазвичай ліцензії оператора радіозв'язку стосуються служб безпеки, аматорського радіозв'язку або інших служб, де може застосовуватися радіозв'язок для забезпечення безпеки.

Прикладами можуть бути ліцензії авіапілотів, операторів морського радіозв'язку Глобальної морської системи оповіщення про біду та забезпечення безпеки, комерційні ліцензії для окремих осіб, що встановлюють, ремонтують і здійснюють технічне обслуговування передавачів на морських і повітряних суднах тощо.

У деяких країнах потрібно мати мінімальну спеціальну освіту як неодмінну умову для проходження перевірки. В інших країнах не вимагається жодної освіти, а прийнято покладатися або на свідоцтво про певний досвід (навчання), або на результати перевірки.

Є сенс визнавати для національних цілей дипломи операторів радіозв'язку з відомими кваліфікаційними нормами, видані в іншій країні. Це може полегшити проведення ефективної, без зайвих витрат **сертифікації операторів**, особливо коли робоче навантаження на національному рівні відносно мале і немає достатніх підстав для розробки й проведення на рівні сучасних вимог перевірки компетентності операторів, особливо коли така перевірка потребує включення питань передової технології.

8.5. Сертифікація радіоелектронних засобів

У процедурі сертифікації застосовується така термінологія (додаток 9).

Сертифікація — процедура, за допомогою якої визнаний в установленому порядку орган документально засвідчує відповідність продукції, систем якості, систем управління якістю, систем управління довкіллям, персоналу встановленим законодавством вимогам [157].

Третя сторона — орган, особи, визнані незалежними від причетних сторін до розглядуваного питання. Причетні сторони представляють інтереси постачальників (виробників, розробників) — *перша сторона*, і споживачів (покупців, відповідних галузевих управлінь) — *друга сторона*.

Заявник — (у галузі сертифікації), особа або орган, які звернулися для одержання відповідного свідоцтва від органу з сертифікації [158]

Постачальник — організація, підприємство, об'єднання юридичних або фізичних осіб, що постачає продукцію та гарантує її якість і відповідність документам, на відповідність яким її було сертифіковано.

Виробник — об'єднання, підприємство, що здійснює випуск продукції та гарантує її якість і відповідність документам (технічним вимогам), на відповідність яким її було сертифіковано.

Споживач — об'єднання, підприємство, організація або фізична особа, що використовує цю продукцію за призначенням.

Відповідність — дотримання всіх установлених вимог до продукції, процесу або послуги [158].

Система сертифікації — система (сукупність учасників сертифікації), яка має свої правила процедури та управління для проведення сертифікації.

Схема сертифікації — склад і послідовність дій при проведенні сертифікації відповідності.

Орган із сертифікації — управління (організація) сертифікації засобів і послуг зв'язку, яке організовує та здійснює сертифікацію, бере участь у сертифікаційних випробуваннях і видає сертифікати, — незалежна третя сторона.

Сертифікат відповідності — документ, оформлений згідно з правилами системи сертифікації, який зазначає, що забезпечено необхідну впевненість у тому, що належним чином ідентифікована продукція (процес чи послуга)

відповідає конкретному стандарту, вимогам або іншому нормативному документу.

Сертифікаційні випробування — випробування, що їх здійснює сертифікаційний центр або лабораторія за програмами й методиками, затвердженими органом із сертифікації.

Знак відповідності — зареєстрований у встановленому порядку знак, застосований або виданий згідно з правилами системи сертифікації, який засвідчує, що дана продукція пройшла сертифікацію, відповідає конкретному стандарту або іншим нормативним документам і має ознаку належності.

Акредитація центру (лабораторії) — офіційне визнання того, що випробувальний центр (лабораторія) має повноваження здійснювати конкретні випробування або конкретні види випробувань.

Акредитована сертифікаційна лабораторія — випробувальна лабораторія, яка пройшла акредитацію.

Дилер, дистриб'ютор — організація, офіційно вповноважена виробником здійснювати продаж виготовлюваної виробником продукції на ринку.

Виконавчий орган системи сертифікації — організація, що оформлює сертифікати відповідності й веде їх реєстр, діючи за вказівками Органу із сертифікації.

Експерт системи сертифікації — фахівець, який несе персональну відповідальність за об'єктивність і компетентність сертифікації та акредитований Органом сертифікації на право виконання цих робіт.

Аудитор системи сертифікації — фахівець, здатний об'єктивно й компетентно здійснювати роботи із сертифікації, брати участь у інспекційних перевірках випробувальних центрів і сертифікаційної продукції, а також в акредитації випробувальних центрів (лабораторій) і атестований Органом сертифікації на право здійснення цих робіт.

Інспекційний контроль за додержанням правил сертифікації (за діяльністю акредитованих випробувальних центрів, лабораторій) — перевірка, яка здійснюється з метою встановлення того факту, що діяльність випробувальних центрів, лабораторій і далі відповідає правилам системи.

Інспекційний контроль за сертифікованою продукцією — перевірка, здійснювана протягом терміну дії сертифіката для підтвердження того, що поставлювана й поставлена продукція, а також стан її виробництва і далі задовольняють встановлені вимоги, підтверджені при сертифікації.

Реєстр системи сертифікації — документ централізованого обліку реєстрації сертифікатів відповідності, який юридично засвідчує результат роботи із сертифікації.

Сертифікація систем якості виробника — перевірка та оцінювання системи якості виробника на відповідність установленим вимогам на підприємствах виробника, міжнародним стандартам серії ISO 9000.

Зазвичай група з проведення випробувань і вимірювань надає повноважній організації з управління використанням РЧР такі послуги:

- лабораторні випробування передавального та приймального устаткування згідно з передбачуваними процедурами схвалення типу обладнання;
- технічне обслуговування та калібрування лабораторного випробувального обладнання та іншої апаратури, яку використовують відділи з інспектування та контролю;
- оцінювання прийнятності обладнання, закупуваного для цілей інспектування та контролю;

● установлення обладнання в автомобілі спеціального призначення та калібрування такого обладнання.

РЕЗ належать до найскладніших видів продукції, оскільки:

1) до РЕЗ висуваються вимоги щодо загальної безпеки (найчастіше — електробезпеки), і ці вимоги визначено в системі обов'язкової сертифікації відповідними нормативними документами (див. п. 3);

2) функціонування РЕЗ пов'язане з випромінюванням електромагнітних полів і впливом цих полів на всі біологічні об'єкти, зокрема й на людину, вимоги й обмеження щодо якого визначає система сертифікації Міністерства охорони здоров'я;

3) процеси функціонування та параметри РЕЗ мають неодмінно задовольняти вимоги до порядку використання радіочастот, протоколів радіообміну, установлених для діючих радіозасобів, та правил експлуатації РЕЗ різного призначення, установлених законодавчо.

Кожна з перелічених трьох груп показників РЕЗ має зазнавати сертифікації згідно з чинними нормативними документами.

Виконання цих вимог не створить неприпустимих завад іншим РЕЗ, не відіб'ється на роботі державних структур та не призведе до тяжких наслідків, пов'язаних з можливим електромагнітним втручанням у роботу різних технічних систем. Кожна зі щойно зазначених трьох самостійних систем сертифікації має законодавчу силу у своїй частині параметрів РЕЗ, що не перетинаються з іншими системами сертифікації.

Усі згадані вимоги виправдані й націлені на захист прав користувачів — як покупців технічних засобів, так і осіб, котрі експлуатують складний радіоелектронний пристрій, що передбачає вплив на організм людини. Саме тому *виробники, постачальники та користувачі мають чітко уявляти необхідність урахування всіх трьох складових сертифікації*. Отже сертифікація здійснюється з метою:

● створення умов для діяльності підприємств, установ, організацій і підприємців на товарних ринках, для участі в міжнародному економічному й науково-технічному співробітництві та міжнародній торгівлі, для сприяння споживачам у компетентному виборі продукції;

● захисту споживача від недобросовісності виробника (продавця, виконавця);

● контролю безпеки продукції для навколишнього середовища, життя, здоров'я та майна;

● підтвердження показників якості продукції, заявлених виробником.

Сертифікація може мати обов'язковий або добровільний характер.

Робота з підготовки та проведення сертифікації передбачає:

● подачу та розгляд заявки;

● рішення щодо заявки;

● підготовку та укладання угоди або контракту на сертифікацію даної продукції, а також систем якості;

● випробування сертифікованої продукції;

● розгляд висновків за результатами сертифікації із зацікавленими організаціями;

● рішення щодо видачі (невидачі) сертифіката відповідності та права на використання знака відповідності;

● виготовлення (оформлення) сертифіката відповідності та включення його до реєстру;

● ведення реєстру сертифікатів відповідності, інформування про результати сертифікації, інспекційний контроль над сертифікованою технікою та системою (системами) якості виробників.

Інспекційний контроль над сертифікованою продукцією (і станом її виробництва) здійснюється для того, аби підтвердити подовження відповідності продукції встановленим вимогам. **Для реалізації контролю необхідно визначити його періодичність та обсяг за певними критеріями.**

Як критерії виступають: ступінь потенційної небезпеки продукції, стабільність виробництва, обсяг випуску, наявність і дієвість систем якості, вартість проведення інспекційного контролю тощо.

Інспекційний контроль сертифікованої продукції здійснюється (якщо його передбачено схемою сертифікації протягом терміну дії сертифіката) не рідше ніж раз на рік. Замовник звертається до органу із сертифікації із заявкою на проведення сертифікації РЕЗ. Орган із сертифікації на основі попереднього аналізу призначає для проведення сертифікаційних випробувань випробувальну лабораторію, акредитовану на здійснення такого роду випробувань.

Випробувальна лабораторія на підставі доручення органу сертифікації здійснює випробування, результати яких у вигляді протоколів (актів) випробувань подає до органу із сертифікації.

Орган із сертифікації на підставі аналізу протоколів випробувань ухвалює рішення про видачу або не видачу сертифіката відповідності.

Саме так у найбільш спрощеному викладі можна схарактеризувати процедури сертифікації.

У разі виникнення колізій процедури ускладнюються: до роботи може бути залучено групи узгодження та апеляційну сертифікаційну комісію.

Міжнародними правилами передбачено перелік можливих схем сертифікації згідно з табл. 8.1.

Найпоширенішою є схема 5, яка водночас і найповніша. Саме вона передбачає разом із випробуваннями типу РЕЗ **ще й сертифікацію системи якості на виробництві**. У такому разі доручення на сертифікацію видається двом незалежним одна від одної лабораторіям: випробувальній лабораторії типу РЕЗ та лабораторії із сертифікації систем якості виробництва РЕЗ.

Сертифікацію обладнання може здійснювати сам виробник. Тоді адміністрація повинна мати змогу вибірково перевіряти технічні характеристики обраного обладнання. Коли адміністрація обере такий підхід, то вона, ймовірно, вважатиме за потрібне мати власну випробувальну лабораторію для виконання вибірових перевірок.

Для деяких видів РЕЗ може здійснюватися сертифікація за параметрами, що впливають на здоров'я людини й на довкілля (контролю підлягають вітчизняні та імпортовані засоби).

До переліку основних санітарних і гігієнічних норм для РЕЗ належать:

а) тимчасові припустимі рівні впливу електромагнітних випромінювань, створюваних системами стільникового радіозв'язку;

б) санітарні норми припустимих рівнів фізичних факторів при застосуванні товарів народного споживання в побуті (Міждержавні санітарні правила та норми МсанПіН 001-96);

в) ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартів безпеки праці. Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні на робочих місцях та вимоги до проведення контролю тощо.

Перелік можливих схем сертифікації

Номер схеми	Випробування у випробувальному центрі/лабораторії	Випробування системи якості	Інспекційний контроль над сертифікованим РЕЗ
1	Випробування типу	Ні	Ні
2	»	»	Випробування зразків, узятих у продавця
3б	»	»	1) Контроль в умовах експлуатації; 2) випробування зразків при виробництві; 3) аналіз і контроль системи якості
4	»	»	Випробування зразків, узятих від продавця. Випробування зразків, узятих у виробника
5	»	Сертифікація систем якості в рамках сертифікації типу	1) Контроль в умовах експлуатації; 2) випробування зразків при виробництві; 3) аналіз і контроль системи якості
6	Розгляд декларації про відповідність із доданими документами	Сертифікація систем якості	Контроль над сертифікованою системою якості
6а	Розгляд декларації про відповідність із наданими документами щодо випробувань типу одного заводу	Сертифікація систем якості заводів, що виробляють РЕЗ	Інспекційний контроль за програмою одного заводу та контроль систем якості інших заводів
7	Випробування партії	Ні	Ні
8	Випробування кожного зразка	»	»
10	Розгляд декларації про відповідність із наданими документами	»	Випробування зразків, узятих у виробника або продавця
10б	Те саме	Аналіз стану виробництва	Випробування зразків, узятих у виробника або продавця. Аналіз стану виробництва

У цих документах встановлюються нормовані параметри РЕЗ та одиниці відповідних величин, визначаються гранично припустимі рівні впливу електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону (ЕМВ РЧ) на людину.

Наприклад, у табл. 8.2 наведено гранично припустимі значення енергетичного навантаження (експозиції) на людину залежно від діапазону частот.

Санітарні зони для стаціонарних РЕЗ, розташованих у зоні житлової забудови, визначаються на підставі гранично припустимих рівнів ЕМВ РЧ для населення (табл. 8.3)

Контролю можуть не підлягати РЕЗ, коли їхня випромінювальна потужність не перевищує 1 Вт у діапазоні частот 0,03...3 МГц; 0,5 Вт у діапазоні 3...30 МГц і 0,05Вт у діапазоні 0,03...300 ГГц.

Таблиця 8.2

Гранично припустимі значення енергетичного навантаження (експозиції) на людину

Діапазон частот	Гранично припустиме енергетичне навантаження (експозиція)		
	за електричною складовою, (В/м) ² /год	за магнітною складовою, (А/м) ² /год	за густиною потоку енергії, (мкВт/см ²)/год
30 кГц...3 МГц	200000	200	—
3...30 МГц	7000	—	—
30...50 МГц	800	0,72	—
50...300 МГц	800	—	—
0,3...300 ГГц	—	—	200

Таблиця 8.3

Гранично припустимі рівні ЕМВ РЧ для населення

Діапазон частот	Гранично припустимий рівень
30 кГц...3 МГц	25 В/м
3...30 МГц	15 В/м
30...50 МГц	10 В/м
50...300 МГц	3 В/м
0,3...300 ГГц	10 мкВт/см ²

Якщо сертифікований виріб (комплекс) новий, то можуть виникнути труднощі, наприклад, через неповний обсяг нормативної документації. Таку нестачу нормативно-технічної документації виявляють на попередніх переговорах, а роботи зі створення необхідних документів включаються в додатковий контракт або в доповнення до контракту на сертифікацію.

Управлінню із сертифікації зазвичай потрібні такі документи щодо РЕЗ (додаток 6):

- рішення повноважного органу про виділення смуги або номіналів частот (наявність рішення згаданого повноважного органу свідчить про відповідність даного типу РЕЗ Національному регламенту радіозв'язку); якщо на момент подання заявки на сертифікацію рішення повноважного органу в заявника немає, то рішення можна отримати на ім'я випробувальної лабораторії сертифікаційних випробувань:

- загальні технічні вимоги (ЗТВ) або технічні вимоги (ТВ), затверджені відповідним галузевим управлінням на конкретний вид РЕЗ;

- технічні умови (ТУ) на сертифіковуваний РЕЗ.

Орієнтовний перелік питань, висвітлюваних в ТУ на РЕЗ, наведено в табл. 8.4.

Орієнтовний перелік параметрів, вимірюваних у процесі випробувань РЕЗ наведено в табл. 8.5.

У додатках 6–14 наведено основний зміст нормативних документів, що відбивають функціонування системи сертифікації в Україні (УкрСЕПРО), яка входить до загальної системи стандартизації [21], а також приклади документів, котрі подаються до органу сертифікації.

8.6. Сертифікація продукції в Європі

У ЄС або ЄАСТ формується Європейська система сертифікації інформаційних технологій (European Information Technology Certification Scheme).

Орієнтовний перелік питань, висвітлюваних у ТУ на РЕЗ

№ п/п	Зміст пункту
1	Вступ: стислий опис РЕЗ, призначення, склад, структура, функціонування, конструкція, основні характеристики
2	Технічні вимоги 2.1. Загальні вимоги щодо відповідності ТВ (ЗТВ), щодо підімкнення до стаціонарних мереж 2.2. Вимоги до параметрів радіоінтерфейсу: — діапазон частот; — діапазон потужностей випромінювання; — вид і параметри модуляції; — протокол взаємодії РЕЗ у складі системи тощо 2.3. Вимоги до параметрів абонентського інтерфейсу: види абонентських інтерфейсів та їхні параметри 2.4. Вимоги до параметрів мережного інтерфейсу (стики зі стаціонарними мережами тощо) 2.5. Вимоги до якості надаваних послуг зв'язку 2.6. Вимоги до характеристик передавання сигналів із використанням РЕЗ або системи радіозв'язку 2.7. Вимоги до параметрів електроживлення 2.8. Вимоги щодо стійкості РЕЗ до зовнішніх механічних і кліматичних впливів 2.9. Вимоги щодо стійкості РЕЗ до електромагнітних завад різного походження 2.10. Вимоги до службового та допоміжного обладнання РЕЗ і радіосистем 2.11. Вимоги до надійності РЕЗ 2.12. Вимоги до запасних частин, приладів та інструментів 2.13. Комплектація РЕЗ 2.14. Перелік документації на РЕЗ 2.15. Вимоги до маркування та упаковки
3	Вимоги з техніки безпеки
4	Правила приймання
5	Склад і комплектація обладнання. Вимоги щодо складу документації
6	Методи контролю параметрів РЕЗ
7	Вказівки щодо експлуатації та технічного обслуговування РЕЗ
8	Упакування, маркування, транспортування РЕЗ
9	Гарантія постачальника
10	Порядок подальшого уточнення ТУ
11	Листок реєстрації змін ТУ
Додатки	
1. Перелік нормативних документів 2. Перелік рекомендованих засобів вимірювань. Частотний план РЕЗ	

Таблиця 8.5

Перелік параметрів випробувань РЕЗ

Технічні параметри	<i>Передавачі:</i> Діапазон частот Потужність випромінювання Стабільність частоти Параметри спектра потужності Діаграми спрямованості антен Спосіб модуляції Позасмугові випромінювання
--------------------	--

	<i>Примітки:</i> Чутливість Вибірність до побічних каналів Діаграми спрямованості антен Рівні випромінювань гетеродинів Динамічний діапазон Сприйнятливості до завад Коефіцієнт помилок Параметри якості приймання мови (даних)
Параметри ЕМС	Випромінювання електромагнітних завад, генерування кондуктивних завад по колах живлення, управління і т. ін.
Стійкість до електромагнітних завад	Стійкість до провалів та перенапруг живильної мережі Стійкість до мікросекундних імпульсних завад по колах живлення та лінійних колах Стійкість до наносекундних імпульсних завад Стійкість до електромагнітного поля радіозавад
Стійкість до механічних і кліматичних чинників	Стійкість до вібрацій Стійкість до підвищеної температури навколишнього середовища Стійкість до ударів Стійкість до зниженої температури навколишнього середовища Стійкість до підвищеної температури навколишнього середовища
Електроживлення	Параметри при зниженій напрузі живлення Параметри при підвищеній напрузі живлення
Випробування на безпеку експлуатації	Параметри електробезпеки Параметри радіочастотного випромінювання Лінійні випробування
Параметри електробезпеки	Параметри взаємодії РЕЗ з іншими РЕЗ системи та з абонентами стаціонарних мереж

Випускатимуться європейські сертифікати інформаційної техніки для вже схваленого обладнання. На мережному рівні управління системою здійснюватиме спеціальна організація — координатор національної сертифікації інформаційної техніки (деяка урядова або делегована національна організація). Кожну таку організацію буде представлено в Європейській комісії із сертифікації інформаційної техніки (European Committee for Information Technology Certification — ECITC). Організація — координатор національної сертифікації інформаційної техніки, зазвичай, передаватиме повноваження з перевірки та сертифікації тим організаціям, які вже отримали дозвіл на таку діяльність за певними видами обладнання (для такої діяльності ці організації мають необхідну вимірювальну апаратуру).

Обладнання, що претендує на схвалення, спочатку має бути подано до випробувальної організації. Остання перевіряє, чи відповідає обладнання технічним вимогам, а результати перевірки передає виробникові. Якщо результати задовольняють вимоги, то їх згодом може бути подано до організації із підтвердження сертифікації. Ця повноважна організація видає Європейський сертифікат інформаційної техніки (European IT Certificate).

Акредитовані випробувальні організації оцінюються згідно з керівництвами ISO 25, 38, 43 та 45. Технічні вимоги для тих видів обладнання, які мають намір перевірити, встановлює служба підтримки тестування (Testing Support Service — TSS). У разі позитивних результатів тестування обладнання отримує позначку CE. Саме така позначка свідчить про його відповідність усім необхідним європейським стандартам.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які міжнародні та державні документи є основою для управління використанням РЧР?

2. Який зв'язок існує між стандартизацією характеристик РЕЗ та управлінням використанням РЧР?

3. Який взаємозв'язок існує між процедурами сертифікації РЕЗ та частотними присвоєннями?

4. Для яких цілей існують національний та Міжнародний реєстри частот? Які дані до них заносяться?

5. Перелічіть обмеження для реалізації права на захист від взаємних завад на міжнародному рівні.

6. Прокоментуйте зміст картки за формою № 1 для процедури присвоєння частоти. Чому формати заявок рекомендовано уніфікувати для всіх країн?

7. Прокоментуйте алгоритм дій для отримання рішення щодо присвоєння частотних смуг для РЕЗ.

8. З якою метою більшість даних у картці за формою № 1 кодується? Наведіть приклади кодування.

9. Особливості оформлення заявки на надання частот для комплексу РЕЗ та кількох РЕЗ.

10. Що таке ліцензування?

11. Цілі та роль ліцензування при використанні РЕЗ.

12. Що впливає на розмір плати за отримання ліцензії?

13. У чому полягає адміністративне управління ліцензуванням?

14. Якими заходами можна послабити монополію держави у сфері регулювання доступу до РЧР?

15. Назвіть можливі причини відмови у видачі ліцензій.

16. Аргументуйте, в яких випадках може бути ухвалено рішення щодо припинення дії ліцензії.

17. Аргументуйте, яких вимог має дотримуватися будь-який власник ліцензії на використання РЧР.

18. Наведіть визначення основних термінів, що стосуються сертифікації.

19. Що таке сертифікація? Якими є цілі сертифікації?

20. Наведіть коментар до трьох груп показників РЕЗ, що перевіряються при сертифікації.

21. Якими є основні етапи підготовки та проведення сертифікації?

22. Міжнародними правилами передбачено кілька схем (варіантів) сертифікації. Наведіть коментар до найпоширенішої схеми.

23. Наведіть коментар до переліку питань, що містяться в технічних умовах (ТУ) на РЕЗ.

24. Наведіть стислу характеристику Європейської системи сертифікації інформаційних технологій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Регламент радиосвязи. Сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра.— М.: 2004.

2. 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.

3. Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне. Женева: МСЭ. Бюро радиосвязи. 1995.

4. Закон України «Про зв'язок». 1995.

5. Брагин А. С., Нестеренко И. К. Основы управления использованием радиочастотного ресурса (Рукопись).— К.: НТУУ КПИ, 2003.— 374 с.

6. Логинов Н. А. Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации.— М: Радио и связь, 2000.— 240 с.

7. Сподобаев Ю. М., Кубанов В. П. Основы электромагнитной экологии.— М: Радио и связь, 2000.— 240 с.

8. Буга Н. Н., Конторович В. Я., Носов В. И.. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств.— М: Радио и связь, 1993.— 240 с.

9. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения ЭМС РЭС.— М: Радио и связь, 1984.— 336 с.

10. Справочник МККР по спутниковой связи. 1988.

11. Павлюк А. П. Систематизация критериев оценки эффективности использования радиочастотного ресурса // Радиотехника № 5, 1989.— с. 48–51.

12. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1. Пер. с англ. Сапгира А. И.— М: Сов. радио. 1977.

13. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование.— СПб: 2000. 196 с.

14. Фролов О. П. Антенны и фидерные тракты для радиорелейных линий связи.— М: Радио и связь, 2001.— 416 с.

15. Григорьев В. А. Организация деятельности в области радиосвязи.— М: «ЭКО-ТРЕНДЗ», 2001.— 268 с.

16. Емельянов Ю. А., Крупнов А. Е., Мамзелев И. А. Сертификация оборудования и услуг связи.— М: 1999.— 248 с.

17. Баенко А. С. и др. Экономические аспекты использования РЧР// Зв'язок № 2, 2000, с. 59–61.

18. Отчет МККР 1105, МСЭ, Дюссельдорф, 1990.

19. Справочник по радиоконтролю. Женева, МСЭ, 2002.

20. Богатырев М. В., Сергеев В. Н. Метод оценки ЭМС РЭС на основе адаптивных норм частотно-территориального разнеса // Электросвязь № 11, 2000.— с. 28–29.

21. *Боженко Л. Г., Гутта О. Й.* Управління якістю, основи стандартизації та сертифікації продукції.— Львів: Афіша, 2001.— 173 с.
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. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» від 24.06.2004 р. № 1876-IV із змінами і доповненнями.
25. Закон України «Про телекомунікації» від 18.11.2004 р. № 1280-IV із змінами і доповненнями.
26. 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.
27. Положення про порядок надання висновків щодо електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів. Затв. Наказом НКРЗ №46 від 12.08.2005 р.
28. *Бородин С.В.* ЭМС наземных и космических радиослужб.— М.: Радио и связь, 1990.
29. Сети телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания. Справочник / М. Г. Локшин, А. А. Шур, А. В. Кокорев, Р. А. Краснощеков.— М.: Радио и связь, 1998.
30. *Егоров Е. И., Калашников Н. И., Михайлов А. С.* Использование радиочастотного спектра и радиопомехи.— М.: Радио и связь, 1986.
31. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В. И. Владимиров и др.; Под ред. Н. М. Царькова.— М.: Радио и связь, 1985.
32. Рекомендации МСЭ-Р. Фиксированная служба. Аспекты совместного использования. Серия F. Часть 2.— Женева: Бюро радиосвязи МСЭ, 1997.
33. Рекомендации МСЭ-Р. Совместное использование частот фиксированной спутниковой и фиксированной службами. Серия SF.— Женева: Бюро радиосвязи МСЭ, 1997.
34. Рекомендация МСЭ-Р SF.765. Пересечение лучей радиорелейных антенн с орбитами, используемыми космическими станциями фиксированной спутниковой службы.
35. Рекомендация МСЭ-Р F.758. Принципы разработки критериев совместного использования частот наземной фиксированной службой и другими службами.
36. Рекомендация МСЭ-Р SF.1006. Определение возможных помех между земными станциями фиксированной спутниковой службы и станциями фиксированной службы.
37. Рекомендация МСЭ-Р SF.357. Максимально-допустимые величины помех в телефонном канале радиорелейной системы с аналоговой угловой модуляцией при совместном использовании одних и тех же полос частот с системами фиксированной спутниковой службы.
38. Рекомендация МСЭ-Р SF.615. Максимально-допустимые величины помех от фиксированной спутниковой службы наземным радиорелейным системам, которые могут являться частью ЦСИС и работают в совместно используемой полосе частот ниже 15 ГГц.

39. Рекомендация МСЭ-Р SF.355. Совместное использование одних и тех же полос частот системами фиксированной службы и радиорелейными системами.

40. Recommendation ITU-R F.1094. Maximum allowable error performance and availability degradations to digital radio-relay systems arising from interference from emissions and radiations from other sources.

41. Рекомендация МСЭ-Р SF.356. Максимально-допустимые величины помех от радиорелейной системы прямой видимости в телефонном канале системы фиксированной спутниковой службы, применяющей частотную модуляцию, при совместном использовании одних и тех же полос частот обеими системами.

42. Recommendation ITU-R S.466. Maximum permissible level of interference in a telephone channel of a geostationary-satellite network in the fixed-satellite service employing frequency modulation with frequency-division multiplex, caused by other networks of this service.

43. Recommendation ITU-R S.523. Maximum permissible levels of interference in a geostationary-satellite network in the fixed-satellite service using 8-bit PCM encoded telephony, caused by other networks of this service.

44. Рекомендация МСЭ-Р SF.558. Максимально-допустимые величины помех от наземных радиолиний системам фиксированной спутниковой службы, использующим 8-разрядную ИКМ для телефонии и работающим в тех же полосах частот.

45. Recommendation ITU-R S.483. Maximum permissible level of interference in a television channel of a geostationary-satellite network in the fixed-satellite service employing frequency modulation, caused by other networks of this service.

46. Рекомендация МСЭ-Р SF.358. Максимально-допустимые величины плотности потока мощности, создаваемой на поверхности Земли спутниками фиксированной спутниковой службы, использующими полосы частот выше 1 ГГц совместно с радиорелейными линиями прямой видимости.

47. Рекомендация МСЭ-Р SF.1004. Максимальная изотропно-излучаемая мощность, передаваемая в направлении горизонта земными станциями фиксированной спутниковой службы, использующими частоты совместно с фиксированной службой.

48. Рекомендация МСЭ-Р SF.406. Максимальная изотропно-излучаемая мощность передатчиков радиорелейных систем, работающих в полосах частот, используемых совместно с фиксированной спутниковой службой.

49. Рекомендация МСЭ-Р F.1338. Пороговые уровни для определения необходимости координации между конкретными системами радиовещательной спутниковой службы (звук) на геостационарной орбите при передаче космос–земля и фиксированной службой в полосе 1452-1492 МГц.

50. Рекомендация МСЭ-Р F.760. Защита радиорелейных систем прямой видимости от помех со стороны радиовещательной спутниковой службы в полосах частот около 20 ГГц.

51. Рекомендация МСЭ-Р F.1334. критерии защиты для систем фиксированной службы, использующих одни и те же полосы частот в диапазоне 1-3 ГГц совместно с сухопутной подвижной службой.

52. Recommendation ITU-R BT.655. Radio-frequency protection ratios for AM vestigial sideband terrestrial television systems interfered with by unwanted analogue vision signals and their associated sound signals.

53. ITU-R Recommendation BS.560. Radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcasting.

54. Отчет 525 МСЭ. Эксплуатационные функции и защитные отношения аналоговых и цифровых систем модуляции, требуемые для использования спектра. Приложение к тому 1. Использование спектра и контроль.— Дюссельдорф, 1990.

55. Отчет 1098 МСЭ. Совместное использование спектра сухопутной подвижной и радиовещательной службами в диапазонах ОВЧ и УВЧ, когда зоны обслуживания географически разделены. Приложение к тому 1. Использование спектра и контроль.— Дюссельдорф, 1990.

56. *Тихвинский В. О.* Сети подвижной связи третьего поколения: Экономические и технические аспекты развития в России.— М.: Радио и связь, 2001.

57. *Бадалов А. Л., Михайлов А. С.* Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС. Справочник.— М.: Радио и связь, 1990.

58. Справочник по радиорелейной связи / Под ред. СВ. Бородина.— М.: Радио и связь, 1981.

59. *Ротхамель К.* Антенны: пер. с нем.— 3-е изд., доп.— М.: Энергия, 1979.— 320 с.

60. *Фролов О. П.* Антенны для земных станций спутниковой связи.— М.: Радио и связь, 2000.

61. *Винтер И. А. и др.* Геоинформационная система проектирования и анализа радиосетей.— Ярославль: ЯГУ, 1999.

62. *Логинов Н. А.* Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации.— М.: Радио и связь, 2000.— 240 с.

63. Справочник по цифровым радиорелейным системам.— Женева: Бюро радиосвязи МСЭ, 1996 г.

64. Фиксированная служба. Аспекты совместного использования частот. Рекомендации МСЭ-Р. Серия F. Часть 2.— Женева: Бюро радиосвязи, 1997.

65. *Ермилов В. Т.* Международное регулирование применения земных станций спутниковой связи типа VSAT.— М.: Радио и связь, 1999.

66. Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ. Т. 2.— М.: НИИР, 1987.

67. Справочник по спутниковой связи и вещанию / Под ред. Л. Я. Кантора.— М.: Радио и связь, 1997.

68. Microwave Antennas. Проспект фирмы Digital Microwave Corp., 2000

69. RFS Antennas Catalog.— [http://: www.rfsworld.com](http://www.rfsworld.com)

70. Antennas. Проспект фирмы Gabriel Electronics, 2000.

71. High Gain Antenna Co., Ltd.— [http:// www.highgain.co.kr](http://www.highgain.co.kr)

72. *Бородин С. В.* ЭМС наземных и космических радиослужб.— М.: Радио и связь, 1990.

73. ETSI TN 302 085 v 1.2.2 (Fired Radio Sestems); Point-to-Maltipoint Antennas in the 3 GHz to 11 GHz band, 2003-08.

74. *Максимов М. В., Бобнев М. П.* и др. Защита от радиопомех / Под ред. Максимова М.В.— М.: Советское радио, 1976.

75. *Тихонов В. И.* Оптимальный прием сигналов.— М.: Радио и связь, 1983.

76. *Быховский М.А.* Исследование нового метода разделения двух ЧМ сигналов, передаваемых в общей полосе частот. *У Радиотехника.*— 198J.— Н².

77. Кантор Л. Я., Дорофеев В. М. Помехоустойчивость приема ЧМ сигналов. — М.: Связь, 1977.

78. Бородин С. В. Искажения и помехи в многоканальных системах радиосвязи с частотной модуляцией. — М.: Связь, 1976.

79. Spectrum Monitoring Handbook. Geneva, ITU, 2002.

80. Recommendation ITU R SM.1050-2 Tasks of a monitoring service.

81. Recommendation ITU-R SM.1392-1 Essential requirement for a spectrum monitoring station for developing countries.

82. 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.

83. Руководящий документ РД 45.193-2001 Оборудование станций радиоконтроля. Общие технические требования. — М.: ЦНТИ «Информ-связь», 2001.

84. Recommendation ITU-R SM.377 Accuracy of frequency measurements at stations for international monitoring.

85. Recommendation ITU-R SM.378-6 Field-strength measurement at monitoring stations.

86. Положення про порядок надання висновків щодо електромагнітної сумісності та дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів. Затв. Наказом НКРЗ №46 від 12.08.2005 р.

87. Monitoring methodology to assess the performance of GSM networks. ECC Report 118, Athens, February 2008.

88. Рішення від 26.07.2007 № 854 «Про затвердження Порядку проведення приймальних випробувань радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв на місці експлуатації».

89. Звіт по НДР «Обґрунтування критеріїв, показників та розробка методів моніторингу якості надання послуг стільникового зв'язку в Україні» (Шифр «Якість»), Київ, 2007 р.

90. UMTS Coverage Measurements. Doc. FM 22(06)57, Відень, 19–22 вересня 2006 р.

91. Проект нормативного документу «Норми на показники якості послуг зв'язку, що надаються мережами стільникового рухомого зв'язку, та методи проведення оціночних випробувань по дослідженню показників якості», звіт про НДР (шифр «Якість»), Київ, 2007 р.

92. Recommendation ITU-R SM.1447 Monitoring of the Radio Coverage of Land Mobile Networks to Verify Compliance with a Given Licence.

93. Інструкція щодо виконання робіт з технічного радіоконтролю параметрів випромінювань радіоелектронних засобів. Затверджена наказом від 07.12.2007 р. №453.

94. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11.02.1998 р. №113/98-ВР.

95. Слободянюк П. В., Благодарний В. Г., Ступак В. С. Довідник з радіомоніторингу / Під заг. Ред. П.В. Слободянюка. — Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. — 588 с.: іл.

96. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского.— М.: Горячая линия-Телеком, 2006.— 492 с.: илл.

97. Recommendation ITU-R SM.1723 Automated mobile spectrum monitoring unit.

98. Recommendation ITU-R P.1546-2 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz.

99. Порядок взаємодії підрозділів Українського державного центру радіочастот щодо розвитку системи технічного радіоконтролю. Затверджений наказом УДЦР від 24.10.2008 р. № 400.

100. Методичні рекомендації щодо планування розвитку системи технічного радіоконтролю УДЦР. Введений в дію наказом УДЦР від 11.09.2008 р. № 334.

101. Recommendation ITU-R P.533-8 HF propagation prediction methods.

102. Recommendation ITU-R P.368-8 Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz.

103. Recommendation ITU-R P.341-5 The concept of transmission loss for radio-links.

104. Recommendation ITU-R PN.525-2 Calculation of free-space attenuation.

105. Recommendation ITU-R P.528-2 Propagation curves for aeronautical mobile and radionavigation services using the VHF, UHF and SHF band.

106. Recommendation ITU-R P.529-3 Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.

107. Recommendation ITU-R P.534-4 Method for calculation sporadic-E field strength.

108. Recommendation ITU-R P.834-5 Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation.

109. Recommendation ITU-R P.452-14 Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz.

110. Recommendation ITU-R P.837-4 Characteristic of precipitation for propagation modelling.

111. Recommendation ITU-R P.453-9 The radio refractive index: its formula and refractive data.

112. Recommendation ITU-R P.530-13 Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.

113. Recommendation ITU-R F.1093-1 Effect of multipath propagation on the design and operation of line-of-site digital radio-relay system.

114. Recommendation ITU-R P.679-3 Propagation data required for the design of broadcasting-satellite systems.

115. Recommendation ITU-R P.680-3 Propagation data required for the design of earth-space maritime mobile telecommunication system.

116. Recommendation ITU-R P.681-6 Propagation data required for the design of Earth-space land mobile telecommunication systems.

117. Recommendation ITU-R P.682-1 Propagation data required for the design on earth-space aeronautical mobile telecommunication systems.

118. Recommendation ITU-R P.618-8 Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

119. Recommendation ITU-R P.617-1 Propagation prediction techniques and data required required for the design of trans-horizon radio-relay systems.

120. 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.
121. Recommendation ITU-R P.1238-1 Propagation data and prediction methods for the planning of indo networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz.
122. Recommendation ITU-R P.1410-3 Propagation data data and prediction method required for the design of terrestrial broadband millimetric radio access system operating in the frequency range of about 20–50 GHz.
123. 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.
124. Recommendation ITU-R P.836-4 Water vapour: surface density and total columnar content.
125. Recommendation ITU-R P.529-3 Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.
126. Recommendation ITU-R SM.326-7 Determination and measurement of the power of amplitude-modulated radio transmitters.
127. Recommendation ITU-R SM.1138-2 Determination of necessary bandwidths including examples for their calculation and associated examples for the designation of emissions.
128. Recommendation ITU-R SM.853-1 Necessary bandwidth.
129. Recommendation ITU-R SM.328-11 Spectra and bandwidth of emissions.
130. Recommendation ITU-R SM.1045 Frequency tolerance of transmitters.
131. Recommendation ITU-R SM.1134 Intermodulation interference calculation in the land-mobile service.
132. Recommendation ITU-R M.1072 Interference due to intermodulation products in the land service between 25 and 3 000 MHz.
133. Recommendation ITU-R SM.329-10 Unwanted emissions in the spurious domain.
134. Recommendation ITU-R S.580-6 Radiation diagrams for use as design objectives for antenna.
135. Recommendation ITU-R S.465-6 Reference radiation pattern for earth station antennas in the fixed-satellite service for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to 31 GHz.
136. Recommendation ITU-R SM.669-1 Protection ratios for spectrum sharing investigation.
137. Recommendation ITU-R RA.769-2 Protection criteria used for radio astronomical measurements.
138. Recommendation ITU-R SA.509-2 Space research earth station and radio astronomy reference antenna radiation pattern for use in interference calculations, including coordination procedures.
139. Recommendation ITU-R RA.517-4 Protection of the radio astronomy service from transmitters operating in adjacent bands.
140. Recommendation ITU-R SM.1046-2 Definition of spectrum use and efficiency of a radio system.
141. Recommendation ITU-R P.837-4 Characteristic of precipitation for propagation modelling.
142. Recommendation ITU-R F.764-1 Minimum requirements for HF radio system using a packet transmission protocol.

143. Recommendation ITU-R SM.337-6 Frequency and distance separations.
144. Rec. ITU-R BS.560-4 Radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcasting.
145. Recommendation ITU-R SM.1047-1 National spectrum management.
146. Recommendation ITU-R SM.667-0 National spectrum management data.
147. Recommendation ITU-R SM.1048 Design guidelines for a basic automated spectrum management system (BASMS).
148. Recommendation ITU-R SM.668-1 Electronic exchange of information for spectrum management purposes.
149. Recommendation ITU-R SM.1370-1 Design guidelines for developing advanced automated spectrum management systems.
150. Recommendation ITU-R SM. 1133 Spectrum utilization of broadly defined services.
151. Recommendation ITU-R SM.1049-1 A method of spectrum management to be used for aiding frequency assignment for terrestrial services in border areas.
152. Закон України «Про стандартизацію».
153. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11.02.1998 р. № 113/98-ВР.
154. ДСТУ ГОСТ 1.1:2005 Міждержавна система стандартизації. Терміни та визначення (ГОСТ 1.1 - 2002, IDT).
155. Закон України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» від 17.05.2001 р. №2407-III.
156. ДСТУ 1.1:2001 Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Терміни та визначення основних понять.
157. Закон України «Про підтвердження відповідності» від 17.05.2001 р. № 2406-III.
158. ДСТУ 3936-99 Системи передавання радіорелейні прямої видимості. Терміни та визначення.

РОЗДІЛ 9

РАДІОМОНІТОРИНГ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ

9.1. Завдання служби радіомоніторингу

9.1.1. Питання термінології у сфері радіомоніторингу

Термін «моніторинг» нині є найпопулярнішим для характеристики більшості процедур спостереження та контролю процесів не лише в різних галузях промисловості, а й у багатьох інших сферах людської діяльності.

Спостереження за користуванням радіочастотним ресурсом, зокрема проведенням його моніторингу, є одним зі способів підтримання цілісності процесів використання РЧР. Радіочастотний моніторинг — один із найефективніших інструментів отримання об'єктивної інформації про електромагнітну обстановку (ЕМО) і реальний стан використання радіочастотного ресурсу (РЧР) держави.

Нині в Україні загальноновизнаними є такі терміни, як «радіочастотний моніторинг», «радіочастотний контроль», «технічний радіоконтроль».

Поряд зі згаданими в деяких російськомовних виданнях застосовується також термін «контроль использования спектра».

Зміст терміну «радіомоніторинг» в Україні визначено в Законі України «Про радіочастотний ресурс України» [1] як «збирання, оброблення, збереження та аналіз даних про параметри випромінювання радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв, які діють у відповідних смугах радіочастот». Ст. 19 того самого Закону визначає: «Радіочастотний моніторинг здійснюється з метою захисту присвоєнь радіочастот, визначення наявного для використання радіочастотного ресурсу України, ефективності використання розподілених смуг радіочастот та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних рішень щодо підвищення ефективності використання та задоволення потреб користувачів радіочастотного ресурсу України».

Зміст терміна «технічний радіоконтроль» визначено в Положенні про радіочастотний моніторинг у смугах радіочастот загального користування» [13] як «складову радіочастотного моніторингу, призначену для інструментальної оцінки параметрів випромінювання РЕЗ (ВП) у смугах радіочастот загального користування». В [13] зміст терміну «технічний радіоконтроль» визначений як «здійснення вимірювання та/або інструментальної оцінки параметрів випромінювання РЕЗ і ВП із застосуванням станцій радіоконтролю». Незважаючи на недосконалість цього визначення стосовно певного змісту завдань, воно має право на існування і застосовується в нормативних документах в Україні.

В іноземній науково-технічній літературі, викладеній англійською мовою, застосовують два терміни: *Radiomonitoring* і *Spectrum Monitoring*. Але, якщо перший перекладається українською мовою як «радіомоні-

торинг» і застосовується переважно у спеціальній літературі для характеристики галузі використання обладнання [15], то другий іноді перекладають як «радіоконтроль» (наприклад, переклад назви видання *Spectrum Monitoring Handbook* [16] як «Справочник по *радиоконтролю*» [3]).

У німецькій мові для позначення радіомоніторингу використовується англomовний термін *Spectrum Monitoring*, а для позначення радіоконтролю — термін *Funkerfassung* (найчастіше застосовуваний у значенні «радіорозвідка»).

Ще один термін, який стосується зазначеної термінології, — це «первинний технічний контроль» (ПТК). Зміст цього терміна в Порядку проведення приймальних випробувань радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв на місці експлуатації визначено так: «Приймальні випробування РЕЗ (ВП) на місці експлуатації (*первинний технічний контроль*) — комплекс робіт, що складається з перевірки на місці експлуатації РЕЗ (ВП) відповідності їх характеристик висновкам щодо ЕМС РЕЗ (ВП), вимірювання параметрів РЕЗ (ВП), інструментальної оцінки параметрів випромінювання РЕЗ (ВП) з метою визначення їх відповідності висновкам щодо ЕМС РЕЗ (ВП), стандартам, нормам випромінювання, даним, зазначеним у сертифікаті відповідності, та прийняття рішення про видачу або відмову у видачі дозволу на експлуатацію РЕЗ (ВП)» [14].

Далі найпоширеніші у сфері радіомоніторингу терміни використовуватимемо в таких визначеннях.

Під *системою радіочастотного моніторингу (СРЧМ)* розуміємо сукупність взаємозв'язаних технічних та програмних засобів, призначених для виконання завдань радіомоніторингу, таких як збирання, оброблення, аналіз і збереження даних про параметри й характеристики радіосигналів і джерел радіовипромінювання [8].

Система технічного радіоконтролю — сукупність взаємозв'язаних технічних засобів і засобів автоматизації, що діють під управлінням персоналу відповідних підрозділів [13].

Радіотехнологія — сукупність способів формування, передавання, приймання (оброблення) радіосигналів, що становлять єдиний технологічний процес передавання та приймання сигналів, застосування яких передбачає використання радіочастотного ресурсу [8; 10; 11].

Станція (комплекс) радіомоніторингу (СРМ) — функціонально завершений комплект обладнання та відповідне програмне забезпечення, які дають змогу виконувати певний обсяг завдань радіомоніторингу (виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювання, ідентифікацію, пеленгування джерел радіовипромінювання, визначення їх місцезнаходження тощо) [8; 10; 11].

Стационарна станція радіомоніторингу — станція радіомоніторингу, постійно розташована у фіксованому пункті з певними географічними координатами [8; 10; 11].

Мобільна станція (комплекс) радіомоніторингу (МСРМ) — розташована на транспортному засобі станція (комплекс) радіомоніторингу, яка забезпечує виконання завдань радіомоніторингу під час руху і/або на зупинці цього транспортного засобу [8; 10; 11].

Радіоелектронний засіб (РЕЗ) — технічний засіб, призначений для передавання і/або приймання радіосигналів радіослужбами [1].

Випромінювальний пристрій — технічний пристрій, що використовується для виробничих, наукових, медичних, побутових потреб (за винятком потреб радіозв'язку), який випромінює електромагнітну енергію в навколишній простір і не є радіоелектронним засобом [1].

Радіоконтрольний пост (пост радіоконтролю, РКП) — окремий стаціонарно розташований підрозділ, оснащений спеціалізованим обладнанням (станцій радіомоніторингу/радіоконтролю) для виконання завдань радіомоніторингу/радіоконтролю [8; 10; 11].

9.1.2. 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» [22] та «Про радіочастотний ресурс України» [1], Постановами Кабінету Міністрів України (КМУ) та іншими нормативно-правовими актами.

Окрім того, Україна, ставши членом МСЕ і ратифікувавши його Статут [23] і Конвенцію [24], узяла цим самим на себе такі зобов'язання:

- застосовувати в країні положення Статуту і Конвенції МСЕ;
- ухвалити відповідні національні законодавчі акти, неодмінно включивши в них 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.

Відповідно до ст. 17 Закону України «Про телекомунікації» та ст. 12 Закону України «Про радіочастотний ресурс України» органом регулювання у сферах телекомунікацій і користування РЧР України є Національна комісія з питань регулювання зв'язку та інформатизації України (НКРЗІ). Завдання та повноваження НКРЗІ у сфері користування РЧР визначено також Положенням про Національну комісію з питань регулювання зв'язку та інформатизації України України [25].

З огляду на обмеженість РЧР України і одночасне стрімке впровадження нових радіотехнологій вільний частотний ресурс майже вичерпаний. Тому одним із завдань НКРЗІ є вдосконалення 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». Окрім того, нормативну базу становлять такі документи:

- Ліцензійні умови користування радіочастотним ресурсом України [64];
- 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 телекомуніка-

ційних 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 поряд із положеннями Закону України «Про радіочастотний ресурс України» основними керівними документами є такі:

- Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України [36];
- План використання радіочастотного ресурсу України [37];
- 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 із підтвердження відповідності електромагнітної сумісності [34];

- Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання [65];
- стандарти та інші нормативні документи, зокрема Перелік стандартів і норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби, що можуть застосовуватися в Україні [35].

При цьому для здійснення організаційно-технічних заходів стосовно планування та використання РЧР та впровадження нових радіотехнологій застосовуються також положення Регламенту радіозв'язку [12] і Рекомендації ITU-R.

Порядок взаємодії державних органів у сфері користування РЧР і УДЦР із користувачами РЧР регулюють такі документи:

- Порядок виконання робіт з виявлення та усунення дії джерел радіозавад у смугах радіочастот загального користування [53];

- Тарифи на роботи (послуги) Державного підприємства «Український державний центр радіочастот», пов'язані з користуванням радіочастотним ресурсом України та виділенням номерного ресурсу [54];

- Рішення НКРЗ від 24.12.2009 р. № 1813 «Про погодження коефіцієнтів зниження рівня Тарифів на роботи (послуги) Державного підприємства «Український державний центр радіочастот», пов'язані з користуванням радіочастотним ресурсом України та виділенням номерного ресурсу» [55];

- Перелік радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, для експлуатації яких не потрібні дозволи на експлуатацію [56];

- Порядок надання спеціальних дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів дипломатичними представництвами, консульськими установами іноземних держав, представництвами міжнародних організацій в Україні [57];

- Положення про надання дозволів на ввезення з-за кордону в Україну радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв [58];

- Перелік радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, для ввезення яких, у тому числі переміщення у міжнародних поштових відправленнях, міжнародних експрес-відправленнях, не потрібні дозволи [59];

- Порядок реалізації в Україні радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв [60];

- Постанова Кабінету Міністрів України від 21.12.2008 р. № 1150 «Про затвердження розміру щомісячного збору за користування радіочастотним ресурсом України» [63].

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 Державної інспекції зв'язку (ДІЗ).

У своїй діяльності ДІЗ тісно співпрацює з УДЦР і керується ст. 7, 8, 14 і 20 Закону України «Про звернення громадян» [38], Законом України «Про Митний тариф України» [39], ст. 145, 146 і 188-7 «Кодексу України про адміністративні правопорушення» [40], Постановами КМУ, рішеннями й розпорядженнями НКРЗ та іншими нормативно-правовими актами, такими як:

- Положення про Державну інспекцію зв'язку [41];
- Про здійснення вимірювання параметрів телекомунікаційних мереж загального користування [42];

- Інструкція про порядок взаємодії Державної інспекції зв'язку, Українського державного центру радіочастот (УДЦР) та органів внутрішніх справ України з питань запобігання, виявлення та припинення порушень законодавства в галузі зв'язку [61];

- Порядок здійснення державного нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України в смугах радіочастот загального користування [62].

Проведення радіомоніторингу використання РЧР України та здійснення заходів щодо забезпечення ЕМС РЕЗ і ВП згідно зі ст. 16 Закону України «Про радіочастотний ресурс України» покладено на УДЦР, який в цій сфері керується Постановами КМУ [31], нормативно-правовими актами НКРЗ [30; 32; 33; 42] та іншими документами, зокрема [12–14, 34–37].

Згідно з Концепцією розвитку телекомунікацій в Україні до 2010 року постають такі основні завдання з використання РЧР та забезпечення ЕМС РЕЗ [43]:

- 1) приведення Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України у відповідність з вимогами МСЕ і Європейської конференції адміністрацій пошти та зв'язку (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.

9.1.3. Нормативно-правові засади діяльності у сфері радіомоніторингу

Необхідними умовами досягнення високої ефективності функціонування національних систем радіомоніторингу та міжнародної СРЧМ є забезпечення нормативно-правового регулювання й підтримки служб радіомоніторингу як на міжнародному, так і на національному рівнях.

На міжнародному рівні завдання служби радіомоніторингу в загальному вигляді визначено в ст. 16 Регламенту радіозв'язку [12], яка також накреслює основні підходи до організації взаємодії національних адмініст-

рацій зв'язку у процесі виконання завдань контролю використання радіочастотного ресурсу, регламентуючи питання створення та функціонування міжнародної СРЧМ і участі в ній служб радіомоніторингу різних країн.

Окрім того, міжнародні органи й організації, такі як МСЕ, СЕРТ, Європейський інститут стандартів телекомунікацій (ETSI), із метою надання допомоги національним органам (службам) радіомоніторингу, уніфікації вимог до обладнання радіомоніторингу та підходів до реалізації типових процедур (операцій) радіомоніторингу забезпечує постійну актуалізацію нормативної бази у сфері радіомоніторингу.

Актуалізація нормативної бази забезпечується завдяки розробці та ухваленню відповідних Рекомендацій МСЕ, СЕРТ та імплементації стандартів ETSI (докладніше процедури розробки, апробації та впровадження стандартів ETSI розглянуто в [10]).

Рекомендації МСЕ, які стосуються питань організації радіомоніторингу, процедур вимірювання параметрів тощо, позначаються символами *SM*. Перелік рекомендацій МСЕ, які визначають процедури організації служби, національних і міжнародних СРЧМ, порядок взаємодії між ними та між СРМ, організацію процедур радіоконтролю (вимірювання параметрів радіовипромінювання), випробувань радіоприймальних пристроїв (РПП), а також перелік рекомендацій і звітів Європейської комунікаційної комісії (ЕСС), що стосуються питань радіомоніторингу, наведено в дод. 1.

Незважаючи на те, що необхідність уніфікації підходів до реалізації типових процедур виконання вимірювань не викликає жодних заперечень, більш того — потребу в такій уніфікації визначають усі фахівці, адміністрації зв'язку, міжнародні органи, доводиться констатувати: це питання й донині залишається відкритим. Достатньо яскраве підтвердження тому — результати моніторингової кампанії в НВЧ діапазоні, організованої Адміністрацією зв'язку Франції та проведеної в період з 19 по 23 травня 2008 року біля містечка Рамбуе (Франція) [20]. Метою моніторингової кампанії було порівняння результатів вимірювання параметрів радіовипромінювання чотирьох передавачів, що працювали в піддіапазонах частот 14,0 ГГц; 14,25 ГГц; 22 ГГц і 38 ГГц. Вимірювання виконувалися рухомими вимірювальними лабораторіями шести адміністрацій зв'язку — Бельгії, Великобританії, Німеччини, Греції, Нідерландів і Франції. Лабораторії було оснащено аналізаторами спектра, конвертерами, вимірювальними приймачами. Для приймання радіовипромінювань використовувалися дзеркальні, логоперіодичні та рупорні антени для відповідних частотних діапазонів.

Вимірювання проводилися одночасно та в однакових умовах розташування вимірювальних лабораторій, зокрема:

1) при проведенні вимірювань рухомі лабораторії розташовувалися на однаковій відстані (50...200 м) від джерела радіовипромінювання у створі діаграми спрямованості передавальної антени;

2) як джерело випромінювання застосовувались:

- рухома передавальна станція *SNG (Satellite News Gathering)* компанії SYSLINK, що працювала на частоті 14,258 ГГц;

- земна станція супутникового зв'язку, що працювала на частоті 14,0005 ГГц;

- радіорелейна станція рухомої радіослужби, яка працювала на частоті 38,6645 ГГц;

● радіорелейна станція рухомої радіослужби, яка працювала на частоті 22,2494 ГГц.

За результатами вимірювань можна дійти таких висновків.

1. Виміряні різними лабораторіями значення частоти випромінювання передавачів були практично однаковими.

2. Розкид значень ширини смуги частот випромінювання, виміряних різними рухомими лабораторіями, становив близько 18%.

3. Розкид виміряних різними рухомими лабораторіями значень рівня сигналу змінювався від 36 дБ (на частоті 14,0005 ГГц) до понад 66 дБ (на частоті 38,6645 ГГц).

4. Розкид обчислених значень рівня напруженості електромагнітного поля для різних лабораторій змінювався від 14 дБ (на частоті 38,6645 ГГц) до понад 33 дБ (на частоті 22,2494 ГГц).

Усе це показує, що ні застосування високоточного та високочутливого вимірювального обладнання, ні наявність висококваліфікованих фахівців не є гарантією повної довіри до результатів вимірювань.

Розбіжності в результатах вимірювань часто виникають у процесі оцінювання параметрів радіовипромінювання базових станцій (БС) систем стільникового зв'язку, а також під час виконуваних різними адміністраціями вимірювань девіації частоти й потужності модуляції частотно-модульованих (ЧМ) сигналів потужних передавачів звукового мовлення у прикордонних зонах. Розв'язання питань забезпечення одноманітності вимірювання, безумовно, вимагає взаємного узгодження методик проведення інструментального оцінювання (вимірювання) параметрів радіовипромінювань, що їх використовують органи (служби) радіомоніторингу сусідніх держав.

На національному рівні діяльність органів радіомоніторингу регулюється чинним законодавством (законами, підзаконними актами), а також стандартами та нормами. При цьому обсяги та глибина деталізації завдань органів радіомоніторингу, які визначаються чинними законами, у різних країнах можуть істотно різнитися.

Окрім Національної таблиці розподілу смуг частот і Плану використання радіочастотного ресурсу України у процесі своєї діяльності підрозділи служби радіомоніторингу УДЦР спираються на відповідні положення, у тому числі Положення про радіочастотний моніторинг, інструкції та настанови про порядок взаємодії органів державного регулювання і управління у сфері використання радіочастотного ресурсу України, міждержавні угоди сусідніх держав про порядок координації використання радіочастотного ресурсу, зокрема:

● Порядок виконання робіт із виявлення та усунення дії джерел радіозавад у смугах радіочастот загального користування [53];

● Тарифи на роботи (послуги) Державного підприємства «Український державний центр радіочастот», пов'язані з користуванням радіочастотним ресурсом України та виділенням номерного ресурсу [54].

У своїй діяльності УДЦР також використовує:

● стандарти та норми на параметри радіовипромінювань РЕЗ і ВП;

● методики та методичні рекомендації про проведення різних видів робіт тощо.

Варто також зазначити, що в багатьох країнах на пострадянському просторі не опікуються розробкою власних стандартів, використовуючи імplementовані (так звані міждержавні) стандарти. Це пояснюється орієнтацією

таких країн на застосування добре випробуваних на практиці методів вимірювання параметрів радіовипромінювань (наприклад, ширини смуги частот на фіксованому рівні, із використанням так званого методу X дБ). Перелік стандартів (ГОСТ, ДСТУ, ETSI, ETS, EN, TIA/IEA, IEEE), норм, рекомендацій ITU і ERC/REC наведено в [10].

Із метою нормування процедур вимірювання параметрів радіовипромінювань під час проведення радіоконтролю в УДЦР розроблено та введено в дію наказами начальника кілька методик і методичних рекомендацій, яким надано статус нормативних для підприємства. Ідеться, зокрема, про такі документи:

- Методика інструментального оцінювання (вимірювання) напруженості електромагнітного поля випромінювання засобами радіочастотного контролю [44];

- Методика інструментального оцінювання (вимірювання) девіації частоти електромагнітних випромінювань радіоелектронних засобів радіомовної служби засобами радіочастотного контролю [45];

- Методичні рекомендації щодо проведення інструментального оцінювання (вимірів) напруженості електромагнітного поля випромінювань базових станцій у прикордонних зонах [46];

- Методика інструментального оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання [47];

- Методика інструментального оцінювання (вимірювання) ширини смуги частот радіовипромінювання [48];

- Методика інструментального оцінювання (вимірювання) зайнятості радіочастотних каналів [49];

- Методика інструментального оцінювання частоти та ширини смуги частот радіовипромінювання з використанням аналізатора спектра ADVANTEST U3772 (у діапазоні частот 3...43 ГГц) [50].

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

9.1.4. Місце радіомоніторингу і радіоконтролю в системі частотного менеджменту

Щоб з'ясувати місце радіомоніторингу в системі регулювання та управління у сфері використання РЧР, доцільно подати таку систему за допомогою класичної схеми з виділенням об'єкта управління та каналу зворотного зв'язку, по якому надходить інформація про реальний стан використання радіочастотного ресурсу (рис. 9.1).

Інформацію про реальний стан використання РЧР можна отримати за результатами:

- 1) проведення перевірки виконання вимог дозвільних та нормативних документів на користування РЧР або експлуатацію РЕЗ (ВП);

- 2) реалізації заходів з оцінювання ступеня використання РЧР (моніторинг спектра);

- 3) розслідування випадків появи радіозавад;

- 4) проведення натурних випробувань на електромагнітну сумісність (ЕМС) діючих РЕЗ, а також РЕЗ, які плануються для використання, існуючих і нових радіотехнологій (до цих випробувань можуть залучатися підрозділи радіомоніторингу).

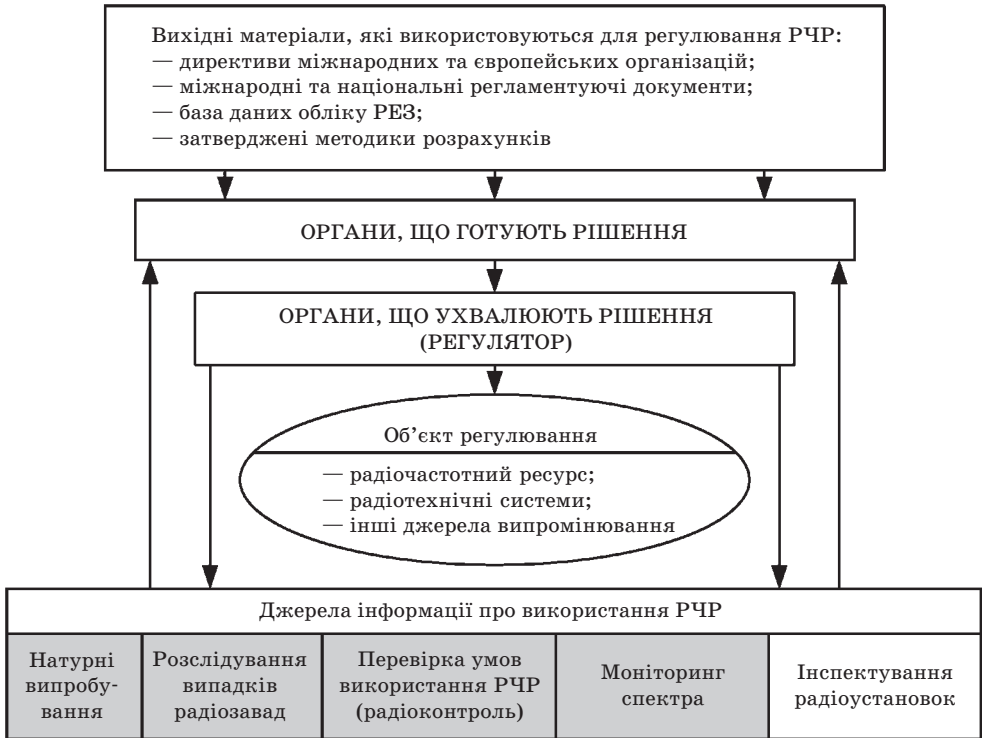


Рис. 9.1. Місце радіомоніторингу в системі частотного менеджменту

Перші два канали отримання інформації безпосередньо стосуються служби радіомоніторингу. Коли ж ідеться про розслідування випадків дії радіозавад, то потрібно розуміти, що в різних країнах ці завдання розв'язуються згідно зі структурою та повноваженнями органів, на які їх покладено: в одних країнах це служба радіоінспектування, в інших — служба радіомоніторингу.

Окрім того, інформацію можна отримувати у процесі проведення службою радіоінспектування (радіоінспекцією) інспектування радіоустановок на місці їх розташування.

Відповідно до завдань *служби* радіоконтролю, окреслених Регламентом радіозв'язку [12], у Довіднику з радіоконтролю [3] діяльність зі спостереження за станом використання РЧР і з нагляду за користуванням РЧР розподілено відповідно між службою контролю використання спектра та службою радіоінспектування.

Для позначення загальної організації процесу контролю за використанням спектра чи інспектування радіообладнання без віднесення відповідних дій до конкретної структури органів, які забезпечують виконання цих функцій, в [1] застосовується термін «служба» (не слід плутати зі штатно-організаційною структурою підрозділів органів регулювання та управління у сфері користування РЧР).

9.1.5. Завдання служби радіоінспектування

Згідно з положеннями, викладеними в Довіднику з радіоконтролю [3], нагляд за використанням РЧР здійснюється з метою:

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

Розв'язання цих завдань служба радіоінспектування забезпечує шляхом:

- проведення контролю (інспектування) параметрів радіосигналів передавачів РЕЗ (радіообладнання) безпосередньо на місцях їх розташування (експлуатації);
- виявлення порушень у сфері користування РЧР;
- вимірювання рівнів напруженості електромагнітного поля та інших параметрів випромінювання радіообладнання з метою унеможливлення його негативного впливу на життя та здоров'я людей;
- розв'язання конфліктних випадків EMC РЕЗ з обладнанням, яке належить до засобів зв'язку;
- дослідження EMC РЕЗ та ВП;
- спостереження за надходженням на ринок телекомунікацій радіо- та іншого електронного обладнання;
- здійснення заходів щодо усунення виявлених порушень.

Характерною особливістю нагляду за користуванням РЧР є те, що він проводиться стосовно *конкретного джерела радіовипромінювання* (РЕЗ або ВП). Незважаючи на наявність істотних розбіжностей між змістом завдань, що покладаються на службу радіомоніторингу та службу радіоінспектування, вони повинні тісно співпрацювати. Як вихідні дані для проведення контролю параметрів радіосигналів передавачів РЕЗ служба радіоінспектування може використовувати результати проведених робіт із радіомоніторингу, зокрема відомості про передавачі користувачів РЧР, які порушують умови виданих ліцензій і/або дозвільних документів. У свою чергу, служба радіомоніторингу може провести контроль відповідності параметрів радіовипромінювань РЕЗ після завершення виконання ремонту радіопередавача. Більш того, у деяких адміністраціях зв'язку виконання функцій цих двох служб покладається на різні підрозділи в межах одного регуляторного органу.

9.1.6. Завдання служби радіомоніторингу

Спостереження за станом використання РЧР є глобальним, найважливішим завданням служби радіомоніторингу.

У загальному вигляді завдання служби радіомоніторингу визначено в Регламенті радіозв'язку та Довіднику з радіоконтролю. За рівнем розв'язання цих завдань їх можна поділити на дві категорії:

- завдання, що розв'язуються на міжнародному рівні;
- завдання, що розв'язуються на національному рівні.

До першої категорії належать такі завдання:

- сприяння в реалізації заходів із виявлення та усунення дії радіозавад на глобальному і/або регіональному рівні;
- забезпечення необхідних даних радіомоніторингу для програм, що їх організовує Бюро радіозв'язку МСЄ при підготовці звітів для конференцій

радіозв'язку, при зверненні інших адміністрацій зв'язку з приводу усунення дії радіозавад або усунення позасмугових випромінювань, а також для надання допомоги іншим адміністраціям щодо координації, пошуку та добору підхожих радіочастот і т. ін.;

- сприяння у проведенні великих міжнародних заходів (спортивних змагань, міжнародних фестивалів і т. ін.).

До завдань, що розв'язуються на національному рівні, належать:

- забезпечення необхідних даних радіомоніторингу для своєї адміністрації зв'язку та регуляторних органів із метою ухвалення управлінських рішень у сфері регулювання та управління використанням РЧР;

- сприяння в реалізації заходів із виявлення та усунення дії радіозавад на місцевому рівні;

- сприяння в реалізації заходів щодо забезпечення EMC РЕЗ і ВП, а також сумісної роботи радіослужб;

- сприяння в забезпеченні потрібної якості приймання населенням програм телебачення та звукового мовлення тощо.

Іноді в науково-технічній літературі завдання служби радіомоніторингу не виправдано обмежують лише забезпеченням заходів із запобігання дії радіозавад. На неприпустимості такого підходу акцентується увага в міжнародних документах: «Использование радиоконтроля не следует ограничивать помощью органам надзора в решении проблем с помехами, в определении местонахождения и идентификации станций, ведущих передачи без соответствующего разрешения». Не відкидаючи важливості цього завдання, потрібно наголосити що на практиці кількість таких ситуацій надто мала — вона становить частки відсотків від загального обсягу робіт, виконуваних службою радіомоніторингу.

Відповідно до положень Регламенту радіозв'язку на службу контролю використання спектра покладаються такі завдання [12]:

- 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 і, для певних радіослужб, змісту радіопередач (наприклад, контроль аматорського радіозв'язку може проводитися також із метою перевірки використання позивних сигналів та відсутності передавання недозволених сигналів мовлення).

Окрім того, на службу контролю використання спектра (службу радіомоніторингу) часто покладається виконання завдань, які безпосередньо не впливають із положень Регламенту радіозв'язку, зокрема:

- дослідження EMC;

- надання допомоги в окремих випадках (наприклад, під час проведення великих спортивних змагань);

- вимірювання зон радіопокриття;

- виконання технічних і наукових досліджень.

Завдання служби радіомоніторингу за своїм змістом поділяються на такі групи (рис. 9.2):

- завдання, що забезпечують розв'язання технічних проблем;
- завдання, що забезпечують потрібною інформацією державні органи регулювання і управління у сфері використання радіочастотного ресурсу;
- завдання, що забезпечують інформаційно-технічну підтримку заходів із міжнародного співробітництва у сфері використання радіочастотного ресурсу.

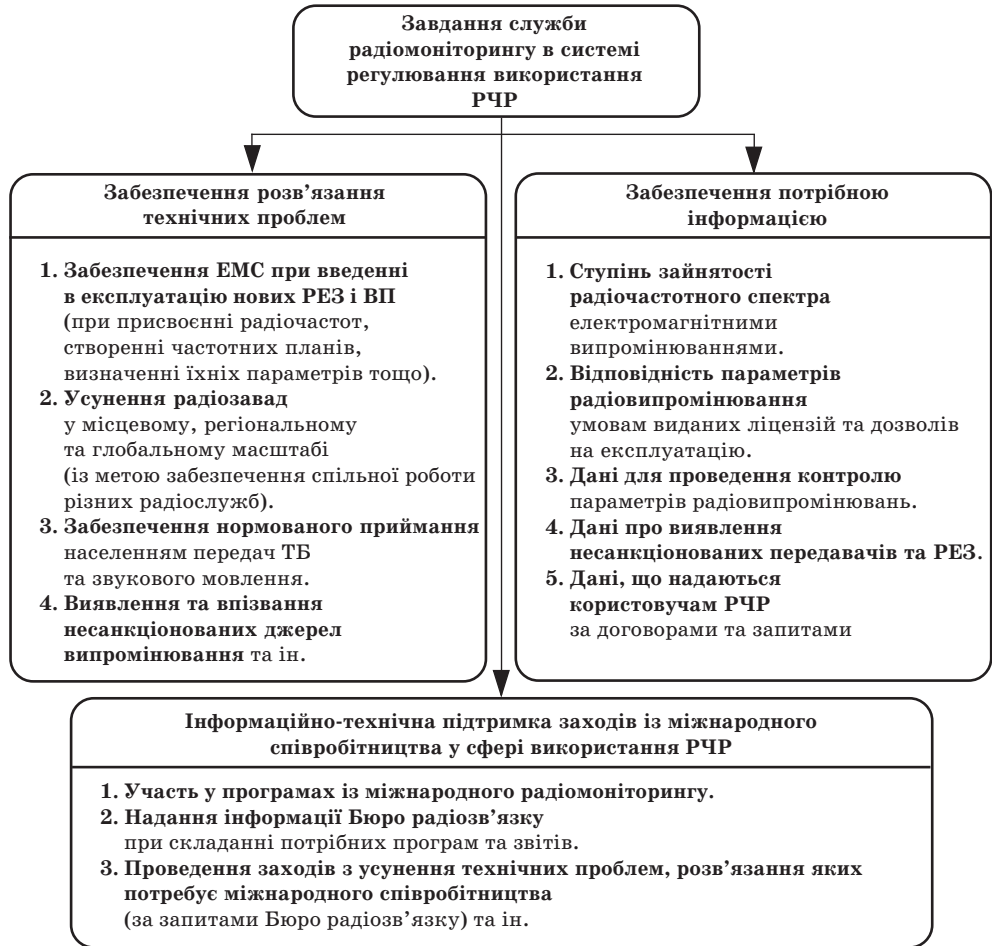


Рис. 9.2. Завдання служби радіомоніторингу

Утім таке окреслення кола завдань служби контролю використання спектра доволі розпливчате і не конкретизує сфери її діяльності, а в деяких випадках окремі завдання взагалі не враховують національних особливостей організації служби радіочастотного моніторингу або не належать до сфери її повноважень.

Конкретніше завдання служби радіомоніторингу визначено в Рекомендаціях ІТУ-R SM.1050 [51] і SM.1392 [52], згідно з положеннями яких увесь комплекс завдань поділяється на три групи.

Перша група завдань спрямована на забезпечення перевірки виконання умов ліцензування та частотних присвоєнь.

Друга група завдань пов'язана з оцінюванням реального стану використання РЧР і підготовкою даних стосовно зайнятості спектра.

Третя група завдань пов'язана з підготовкою спеціальних звітів в інтересах МСЕ, із участю в міжнародних моніторингових заходах (кампаніях) тощо.

Мета реалізації завдань **першої групи** така:

- захист присвоєнь радіочастот;
- виявлення порушень у сфері використання радіочастотного ресурсу та користування РЧР;
- вимірювання параметрів радіовипромінювання РЕЗ і ВП;
- виявлення, вивчення випадків радіозавад і здійснення заходів з усунення їхнього впливу на РЕЗ;
- дослідження ЕМС РЕЗ із ВП тощо.

Зазначені завдання реалізуються в такий спосіб.

1. Виявлення та демодуляція сигналів випромінювання передавачів:

- надання допомоги в ідентифікації джерел небажаних випромінювань;
- визначення відповідності виявлених радіосигналів вимогам національних і міжнародних документів, які регулюють правила впізнання, у тому числі й позивних;

- ідентифікація невідомих передавачів;

2. Виконання вимірювань параметрів і визначення характеристик сигналів радіовипромінювань передавачів, що порушують національні та міжнародні стандарти і/або норми, зокрема:

- пеленгування, локалізація та визначення місцезнаходження джерел небажаних випромінювань (випромінювань, які заважають нормальній роботі РЕЗ) і передавачів, які порушують національні та міжнародні стандарти й норми на параметри радіовипромінювання;

- вимірювання частоти та її відхилення від значення, визначеного в дозволі на експлуатацію;

- вимірювання займаної смуги частот і її відхилення від присвоєного значення;

- вимірювання рівнів небажаних випромінювань для перевірки їх відповідності припустимим рівням для позасмугових і побічних радіовипромінювань;

- вимірювання значення девіації частоти ЧМ і ФМ передавачів для перевірки їх відповідності значенням, визначеним у дозволах на експлуатацію;

- вимірювання рівнів сигналів на підносійних частотах для перевірки їх відповідності значенням, визначеним у дозволі на експлуатацію;

- визначення класу випромінювання для верифікації характеристик модуляції;

- вимірювання інших параметрів і визначення характеристик, притаманних окремим радіослужбам, таким як телевізійне мовлення, широкосмуговий супутниковий радіозв'язок тощо;

- вимірювання рівнів випромінювання для перевірки їх відповідності вимогам чинних технічних стандартів на параметри випромінювання ВП.

3. Проведення періодичного інспектування радіообладнання в інтересах національної служби або служб інших держав для визначення його відповідності технічним, робочим та регуляторним нормам і положенням, чинним у сфері регулювання використання РЧР.

Друга група завдань спрямовується на отримання кількісного оцінювання ступеня використання РЧР і розв'язується такими діями.

1. Оцінювання значень рівнів напруженості (або спектральної густини потужності) електромагнітного поля для надання допомоги системі частотного менеджменту щодо:

- дослідження умов поширення радіохвиль і можливості здійснення частотних присвоєнь;

- визначення співвідношення рівнів сигнал/завада;

- аналізу прогнозування електромагнітної обстановки та впливу радіозавад;

- перевірки захисних критеріїв.

2. Проведення вимірювань захисних відношень сигнал/завада (для різного розстроювання за частотою та різних рівнів сигналів).

3. Визначення реальної зайнятості смуг частот, у тому числі смуг роботи супутникових транспондерів, для перевірки умов виділення і частотоприсвоєнь для підтвердження правильності принципів перерозподілу смуг частот. Ці вимірювання мають проводитися на постійній регулярній основі для визначення реального стану, динаміки й тенденцій зміни зайнятості смуг частот.

4. Визначення потрібного частотного й географічного (територіального) рознесення РЕЗ.

5. Визначення зон радіопокриття радіостанцій і зон покриття мереж. Мета реалізації цієї групи завдань така:

- виявлення вільного РЧР, а також наявного РЧР;

- розробка науково обґрунтованих рекомендацій для ухвалення управлінських рішень із підвищення ефективності використання РЧР і задоволення потреб у ньому всіх користувачів РЧР;

- оцінювання ефективності використання вже розподілених смуг частот.

До **третьої групи** завдань віднесено:

1) проведення довготривалих вимірювань рівня шумового фону та надання даних системі регулювання використання радіочастотного ресурсу для ухвалення управлінських рішень (наприклад, стосовно частотних присвоєнь для радіомовної служби);

2) участь згідно зі ст. 16 Регламенту радіозв'язку в заходах системи міжнародного радіомоніторингу з метою запобігання дії радіозавад у глобальному та регіональному масштабах, у тому числі у смугах частот служби рятування, сигналів біди, а також підготовки інформації для Радіоконференцій;

3) підготовка заключних звітів із питань радіомоніторингу для надання допомоги системі частотного менеджменту щодо стандартизації параметрів радіовипромінювань;

4) виявлення проблемних зон (територій) для здійснення детальнішого радіомоніторингу (радіоконтролю) на основі проведення регулярних спостережень із використанням стандартного обладнання і формалізованих методів;

5) розробка практичних пропозицій щодо усунення дії радіозавад, припинення роботи їх джерел на основі аналізу результатів, отриманих у процесі проведення радіомоніторингу.

Зазначені групи завдань априорі визначають рівні їх розв'язання, 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, у зоні відповідальності СРЧМ;
- переліку функціональних можливостей як СРЧМ у цілому, так і окремих її складників у частині виявлення радіовипромінювань, вимірювання та перевірки значень їхніх параметрів щодо відповідності умовам виданих ліцензій, висновків щодо ЕМС і дозволів на експлуатацію;
- забезпечення взаємодії із системою планування та розподілу РЧР (з обліковою базою даних (БД) частотних присвоєнь і БД обліку ліцензіатів).

Друга група завдань установлює необхідність проведення довгострокових спостережень, спільного статистичного оброблення та аналізу їх результатів і формування потрібних звітних документів, тобто визначає вимоги щодо автоматизації процесів радіомоніторингу, а також потребує наявності спеціалізованих центрів управління (так званих центрів радіомоніторингу) для оброблення і узагальнення цих результатів.

Третя група завдань визначає вимоги щодо:

- рівня технічної оснащеності складників СРЧМ, виходячи з умови забезпечення відповідності їхнього обладнання вимогам, що висуваються до міжнародних станцій радіоконтролю;
- порядку та процедур взаємодії як національних систем радіомоніторингу між собою, так і з міжнародними органами.

На підставі отриманих результатів служба радіомоніторингу повноважна робити висновки про відповідність реального стану електромагнітного стану тому, який прогнозується, а також про наявність порушень у сфері користування РЧР. Ці результати є підставою для здійснення нагляду за дотриманням установлених правил у цій сфері та вжиття відповідних заходів з усунення причин виявлених порушень. Більш того, як зазначається в міжнародних документах, «служба радіоконтроля должна стать главным помощником органа управления использованием радиочастотного ресурса в его работе по планированию частотных присвоений и использованию радиочастот» [66].

Згідно зі ст. 19 Закону України «Про радіочастотний ресурс України» [1] радіомоніторинг в Україні здійснюється з метою:

- захисту присвоєнь радіочастот;
- визначення наявного для використання РЧР України;
- визначення ефективності використання розподілених смуг частот;
- розроблення науковообґрунтованих рекомендацій для ухвалення відповідних рішень щодо підвищення ефективності використання та задоволення потреб користувачів РЧР України.

Таким чином, радіомоніторинг як спостереження за реальним станом використання РЧР передбачає розв'язання таких завдань:

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

Виконання перших трьох завдань забезпечує досягнення однієї з основних цілей служби радіомоніторингу — моніторингу радіочастотного спек-

тра. Вимірювання параметрів радіовипромінювання РЕЗ згідно з переліком робіт, що їх виконує УДЦР [54; 67], належать 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 розв'язуються 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;*
- *радіоконтроль параметрів радіовипромінювань РЕЗ і ВП.*

Запропонований у [13] термін *технічний радіоконтроль* також неможливо вважати досконалим: важко уявити, якими іншими засобами, окрім технічних, можна проводити контроль параметрів радіовипромінювань РЕЗ і ВП. Проте, урахувавши чинну в Україні нормативну базу, надалі іноді будемо використовувати й цей термін, хоча для характеристики відповідного процесу частіше будемо використовувати термін «радіоконтроль».

Утім слід визнати, що на практиці здебільшого завдання служби радіомоніторингу донині обмежуються розв'язанням лише першої групи завдань, спрямованих на забезпечення здійснення нагляду за зв'язком. Як констатує автор публікації «Недостающее звено» Ю. В. Волкова [66], «результаты радиоконтроля практически никогда не учитывались при планировании, и почти вся деятельность служб радиоконтроля заключалась в надзоре за связью». За деякими оцінками, нині до «70–80% рабочего времени операторы станций радиоконтроля заняты измерениями излучений радиопередатчиков с целью контроля соблюдения требований нормативных документов. Оставшееся время уходит на контроль соблюдения условий использования частот, куда входит задача идентификации незаконно действующих передатчиков, контроль запретов, частотных планов и т. д.» [67]. Постає доволі резонне запитання: у чому причини такого штучного обмеження потенційних можливостей органів (служби) радіомоніторингу?

Першою та, напевне, найвагомішою причиною цього є незатребуваність інформації про реальний стан використання РЧР (про зайнятість і/або ефективність використання смуг радіочастот) для процесу ухвалення управлінських рішень органами регулювання у сфері використання РЧР. Це пояснюється такими факторами:

1) ухвалення управлінських рішень у сфері регулювання використання РЧР часто розглядається як необхідна супутня умова для реалізації глобальних проектів (наприклад, упровадження нових радіотехнологій або стандартів зв'язку) у масштабах держави, а забезпечення ЕМС на якійсь невеликій території або в межах локального угруповання РЕЗ вважається частковим завданням, яке може розв'язуватися на більш низькому рівні, у тому числі й підрозділами служби радіомоніторингу;

2) відсутність узгоджених і науково обґрунтованих (а на практиці — будь-яких) методів, методик або рекомендацій з обліку та врахування результатів оцінювання стану використання РЧР і пропозицій служби радіомоніторингу при аналізі ситуації та ухваленні управлінських рішень системою частотного менеджменту при присвоєнні радіочастот (смуг частот) РЕЗ, перерозподілі смуг радіочастот, які використовуються неефективно або взагалі не освоюються.

Друга причина — це неготовність органів і системи радіомоніторингу в цілому до проведення таких робіт, яка є наслідком:

1) відсутності науково обґрунтованих методів, методик або рекомендацій і, передусім, — фахівців з оброблення та узагальнення часткових (отриманих на локальних територіях, у межах одного населеного пункту або з одного РКП) результатів оцінювання зайнятості й ефективності використання смуг радіочастот і отримання інтегральних кількісних оцінок та якісних характеристик ефективності використання РЧР у масштабах регіонів, країни;

2) необхідності розв'язання нестандартних завдань. Останнє пояснюється тим, що в абсолютній більшості випадків радіоконтроль параметрів радіовипромінювань здійснюється, як правило, або шляхом проведення планових типових робіт, що базуються на застосуванні роками опрацьованих процедур, або шляхом виконання робіт стосовно одного конкретного РЕЗ (при цьому час проведення вимірювань обмежується одиницями—десятьками хвилин).

При цьому результати вимірювань набирають вигляду звітної документації (протоколів), поданої, як правило, за типовою формою, котра автоматично формується програмним забезпеченням засобу радіомоніторингу (радіоконтролю).

Що ж до організації робіт з отримання *кількісної оцінки ступеня та ефективності використання РЧР*, то вона передбачає здійснення довгострокового планування заходів з організацією тривалих періодичних спостережень, що неминуче призводить до непродуктивних витрат часу роботи мобільних (рухомих) засобів радіомоніторингу для проведення робіт, пов'язаних з оцінюванням зайнятості смуг частот.

З огляду на пріоритетність робіт із нагляду за зв'язком та обмеження цільової спрямованості завдань служби радіомоніторингу (служби контролю за використанням спектра) адміністрації зв'язку (або регуляторні органи у сфері використання РЧР) деяких країн для позначення цієї служби застосовують термін «служба радіоконтролю», а не «служба радіомоніторингу».

Проте, як відомо, кожне правило має винятки. Таким винятком із зазначеного правила можна вважати організацію в 2008–2009 роках регуляторним органом у сфері телекомунікацій Об'єднаного королівства Великобританії та Північної Ірландії *Ofcom* заходів з оцінювання реального стану використання РЧР у смузі частот від 100 МГц до 5 ГГц. Протягом п'яти місяців 15 автомобілів однієї з торговельних компаній, оснащених спеціалізованим пристроєм *RFeye Roof Box* на базі уніфікованого модуля *RFeye Node* розробки компанії «*CRFS Ltd*» (Кембридж), виконували комерційні поїздки територією Великобританії, у процесі яких в автоматичному режимі виконувалися завдання з виявлення та вимірювання рівнів напруженості поля електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у заданих смугах радіочастот. Результати робіт у вигляді спектрограм сигналів із «прив'язуванням» їх до часу та географічних координат місця виконання реєструвалися на магнітний носій. За результатами проведення цих робіт було отримано та оброблено понад 4,2 млн вимірювань, а загальний пробіг автомобілів становив понад 65 тис. км [68].

Методика, яка застосовувалася для обробки результатів, дозволяла оцінювати розподіл рівнів напруженості поля радіовипромінювання як за

територією, так і за частотами. У першому випадку було отримано оцінки розподілу пікового та середнього значень рівнів напруженості за територією, а також виявлено території, де рівні досягають пікових значень. У другому випадку було отримано оцінки розподілу значень рівнів напруженості за частотою. Особлива увага зверталася на смуги частот роботи таких радіотехнологій, як:

- UMTS/IMT-2000 у смузі частот 2,11...2,17 ГГц (на лінії «вниз»);
- телеметрія у смузі частот 457,5...464 МГц;
- цифрове звукове мовлення в піддіапазоні частот 220 МГц;
- TETRA у смузі частот 390...395 МГц;
- РЕЗ, що належать до категорії «пристроїв короткого радіуса дії» (Short Range Devices, SRD), у смузі частот 863...870 МГц;
- базові станції мереж стільникового зв'язку стандарту GSM-R у смузі частот 921...925 МГц;
- системи широкосмугового безпроводового радіодоступу WiMAX у смугах частот 3,48...3,50 ГГц і 3,58...3,60 ГГц;
- ISM (Industrial, Scientific and Medical) РЕЗ у піддіапазоні 2,4 ГГц;
- цифрового (у смугах частот 718...726 МГц і 646...654 МГц) та аналогового телебачення;
- повітряної навігаційної служби на частотах 1,075 і 1,125 ГГц.

Наприклад, пікове значення зайнятості смуг радіочастот для радіотехнології стандарту UMTS/IMT-2000 для високого рівня використання (зайнятості) смуг частот досягає 89%, середнє значення — 81%.

Загалом завдання стосовно отримання необхідної користувачам інформації розв'язується 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 зареєстровано в БД обліку частотних присвоєнь (обліку РЕЗ);
- виявлення незареєстрованих ДРВ;
- визначення місцезнаходження ДРВ;
- проведення вимірювань у рамках виконання робіт за програмами МСЕ і Європейської конференції адміністрацій пошти та зв'язку (CEPT);
- 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 прогнозованим, а також щодо наявності порушень у сфері використання РЧР. Зазначені результати є підставою для здійснення нагляду за виконанням установлених правил у цій сфері та вжиття відповідних заходів щодо усунення причин виявлених порушень.

З урахуванням цього надалі термін «радіомоніторинг» буде вживатися згідно з таким визначенням:

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

Проводячи паралелі щодо розподілу повноважень між службою контролю використання спектра та службою радіоінспектування (згідно з [10]) і органами радіочастотного моніторингу та Державною інспекцією зв'язку України (ДІЗ) відповідно до Закону України «Про радіочастотний ресурс України» [1], можна зазначити таке:

- функції органів радіомоніторингу в Україні збігаються з функціями служби контролю використання спектра [10];
- функції органів державного нагляду за користуванням РЧР України (наприклад, ДІЗ — у смугах радіочастот загального користування) збігаються з функціями служби радіоінспектування.

10.1.7. Завдання служби радіомоніторингу у процесі частотного менеджменту

Одним із основних завдань служби радіомоніторингу є інформаційне забезпечення функціонування системи планування та розподілу РЧР (системи частотного менеджменту). Державне регулювання у сфері використання РЧР передбачає виконання певного комплексу організованих за багаторівневою ієрархічною схемою процедур і заходів, спрямованих на забезпечення ефективного використання РЧР, упровадження нових радіотехнологій та безаварійної роботи РЕЗ частотокористувачів, зокрема (рис. 9.3):

- розподіл смуг частот між радіослужбами;
- виділення смуг частот для існуючих та перспективних радіотехнологій;
- ліцензування користувачів РЧР;
- присвоєння радіочастот РЕЗ;
- забезпечення безаварійної роботи РЕЗ у процесі їх експлуатації.

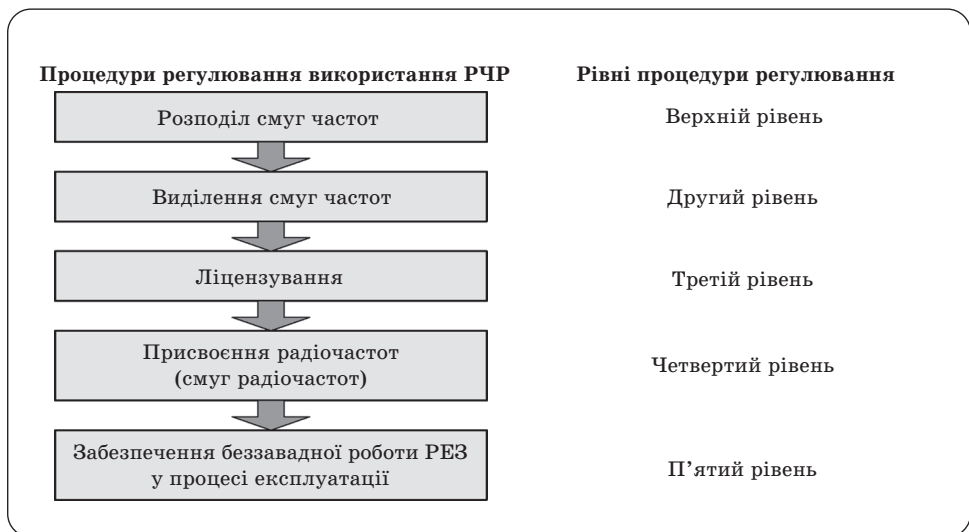


Рис. 9.3. Ієрархічна схема процесу регулювання у сфері використання РЧР

9.1.7.1. Завдання служби радіомоніторингу на етапі розподілу смуг радіочастот

Розподіл смуг частот між радіослужбами є верхнім рівнем процесу регулювання використання РЧР. Під розподілом смуг радіочастот розуміється «запис в Таблице распределения частот некоторой заданной полосы частот с целью ее использования одной или несколькими наземными или космическими службами радиосвязи или радиоастрономической службой при определенных условиях» [12]*.

Для забезпечення розв'язання завдань розподілу смуг частот радіомоніторинг не проводиться.

9.1.7.2. Завдання служби радіомоніторингу на етапі виділення смуг радіочастот

На наступному, другому етапі процедури регулювання в межах розподілених смуг радіочастот виконується виділення смуг частот для конкретних радіотехнологій (із визначенням термінів дії або строків розробки, початку виробництва, модернізації, експлуатації або ввезення з-за кордону).

Згідно з визначенням, наведеним у [12], виділення радіочастотного каналу зводиться до «записи определенного радиочастотного канала в согласованном плане, принятом компетентной конференцией, с целью использования его одной или несколькими администрациями для наземной или космической службы радиосвязи в одной или нескольких указанных странах или географических зонах при определенных условиях». Виділення смуг радіочастот закріплюється в Плані використання радіочастот.

Місце та завдання радіомоніторингу у процедурі виділення радіочастот унаочнює рис. 9.4.

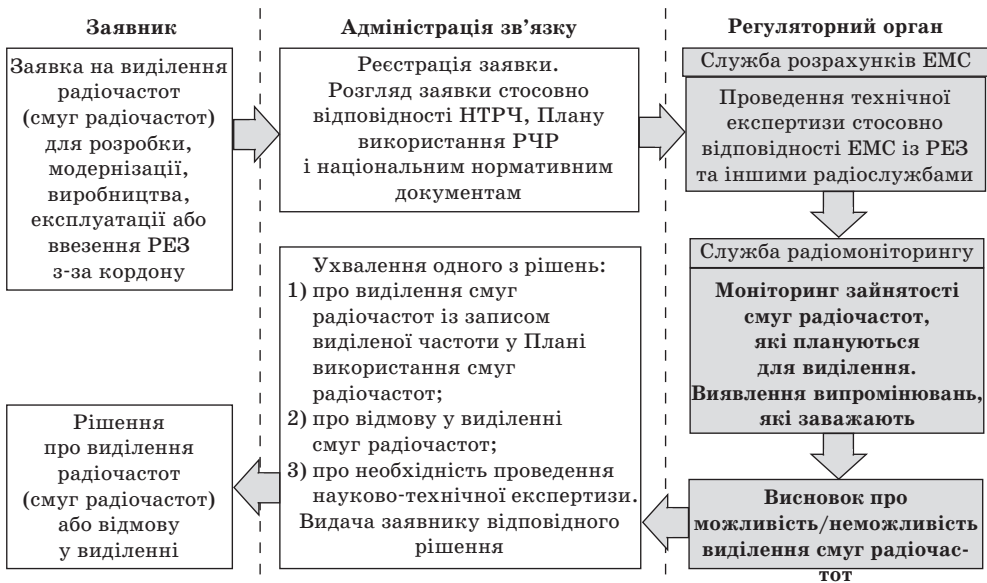


Рис. 9.4. Завдання радіомоніторингу при виділенні радіочастот

* Цей термін також застосовується для позначення зазначеної смуги [12]. Нині за різними ознаками виокремлюють понад 40 різних радіослужб, при цьому деякі радіотехнології за формальними ознаками можуть бути віднесені до кількох радіослужб.

У процесі виділення радіочастот (смуг частот) на етапі експертизи і розрахунків умов ЕМС РЕЗ служба радіомоніторингу реалізує такі заходи:

- оцінювання ступеня зайнятості і використання смуг частот, які плануються для виділення, у межах заданих територій (або країни в цілому), часу тощо;
- виявлення радіовипромінювань, що заважають (створюють радіозавади) на заявлених частотах (у заявлених смугах частот);
- розроблення та подання пропозицій щодо можливості використання аналізованих смуг частот, на підставі яких формуються висновки щодо можливості та доцільності виділення (або пропозиції з його коригування).

9.1.7.3. Завдання служби радіомоніторингу на етапі планування присвоєння радіочастот

Метою проведення радіомоніторингу на етапі ліцензування використання радіочастот є отримання реальних даних стосовно завантаження (зайнятості) смуг частот (окремих частот чи частотних каналів), які підлягають ліцензуванню. Окрім того, отримання додаткових даних про рівні сигналів у смугах частот (частотних каналах), які плануються для ліцензування, а також у сусідніх смугах (каналах), дає змогу порівнювати ці дані з результатами розрахунків із метою внесення поправок або уточнення в умови (критерії) забезпечення ЕМС РЕЗ систем, які плануються для використання, та РЕЗ інших систем, що працюють у сусідніх смугах частот (частотних каналах). Така інформація дозволяє правильно визначити частотні та територіальні обмеження на використання РЕЗ для особливих умов ліцензування.

У загальному вигляді перелік робіт із моніторингу частот на етапі добору частот, проведення розрахунків ЕМС та формування висновків щодо ЕМС включає в себе перелічені далі позиції.

1. Моніторинг номіналів (смуг) частот із метою визначення ступеня реальної зайнятості. Проведення таких робіт зазвичай виправдане в місцях інтенсивного використання РЧС (обласні центри, великі міста, промислові та курортні зони, окремі виставкові території, місця масового скупчення людей, зони масового відпочинку тощо). Проведення робіт в інших випадках не внесе суттєвих поправок у результати розрахунків, а тому економічно не виправдане. В інших випадках роботи можуть виконуватися за окремим запитом від служби планування та регулювання РЧР. Роботи з моніторингу спектра виконуються, як правило, із використанням стаціонарних СРМ. В окремих випадках для виконання робіт із моніторингу спектра в смугах частот, які плануються для ліцензування і/або присвоєння радіочастот, а також для уточнення результатів або проведення робіт у місцях, де їх виконання стаціонарними засобами неможливе, можуть залучатися мобільні станції радіомоніторингу загального призначення.

2. Інструментальне оцінювання (вимірювання) рівнів сигналів в окремих смугах (для окремих номіналів) частот та в окремих місцях (пунктах) із метою перевірки результатів розрахунків. Такі роботи виконуються із застосуванням рухомих (мобільних) вимірювальних комплексів радіоконтролю (МСРМ загального призначення або ССТК) на підставі окремих заявок підрозділів служби планування та регулювання РЧР.

3. Моніторинг окремих номіналів (смуг) частот і рівнів сигналів в окремих пунктах у прикордонній зоні з метою виявлення реального стану використання частот сусідніми державами або перевірки результатів координації. Роботи виконуються із застосуванням рухомих (мобільних) вимірювальних комплексів (МСРМ загального призначення або ССТК) на підставі заявок підрозділів служби планування і регулювання РЧР.

Процедура підготовки частотного присвоєння на підставі позитивних результатів завершується оформленням та видачею заявникові висновку щодо ЕМС РЕЗ із позначенням присвоєного номіналу (смуги) частот.

Проте процедура присвоєння радіочастот у кожній країні реалізується суворо згідно з вимогами (положеннями) чинного законодавства в цій сфері. В Україні також існують певні відмінності від інших країн, причому навіть у реалізації процедур ліцензування та присвоєння радіочастот для радіомовної служби порівняно з іншими радіослужбами.

У першому випадку після подання суб'єктом господарювання, який намагається здійснювати свою діяльність у сфері телекомунікацій (за винятком телерадіомовлення), заявки на видачу ліцензії на користування РЧР у НКРЗ України ця Комісія спрямовує заявку до Державного підприємства «Український державний центр радіочастот». УДЦР здійснює розрахунки та перевірку умов ЕМС заявленого РЕЗ з іншими РЕЗ, за результатами яких надсилає до НКРЗ висновки для ухвалення відповідних рішень стосовно видачі (або обгрунтовану відмову від видачі) ліцензії (рис. 9.5).



Рис. 9.5. Завдання радіомоніторингу при ліцензуванні та присвоєнні радіочастот (окрім радіомовної служби)

При цьому під час перевірки умов ЕМС служба радіомоніторингу (коли йдеться про УДЦР, то під службою радіомоніторингу розуміють структурні підрозділи УДЦР, які виконують роботи з моніторингу спектра та радіоконтролю, — управління радіочастотного моніторингу та підрозділи радіоконтролю філій УДЦР) може проводити роботи з перевірки правильності виконаних розрахунків та оцінювання реальної електромагнітної обстановки в зонах роботи РЕЗ заявника із наданням практичних рекомендацій.

У разі позитивного висновку НКРЗІ видає заявникові ліцензію на користування РЧР, на підставі якої УДЦР, за заявкою користувача, видає дозвіл на експлуатацію РЕЗ (докладніше завдання служби радіомоніторингу на етапі видачі дозволу на експлуатацію РЕЗ розглядаються далі).

Якщо суб'єкт господарювання має намір здійснювати свою діяльність у сфері телерадіомовлення, він подає заявку на видачу ліцензії до Національної ради з питань телебачення і радіомовлення (НРТР) України, яка спрямовує документи для виконання та перевірки розрахунків ЕМС і подання висновків щодо ЕМС РЕЗ радіомовної служби в УДЦР. У разі позитивного висновку на підставі виданої НРТР ліцензії (або подання), УДЦР присвоює радіочастоту заявленому РЕЗ (рис. 9.6).

При цьому на етапі проведення технічної експертизи служба радіомоніторингу також може здійснювати практичну перевірку результатів розрахунків ЕМС проведенням моніторингу спектра.



Рис. 9.6. Завдання радіомоніторингу при ліцензуванні та присвоєнні радіочастот для РЕЗ телевізійного та звукового мовлення

9.1.7.4. Завдання служби радіомоніторингу на етапі видачі дозволу на експлуатацію РЕЗ

Згідно з вимогами чинних в Україні нормативних документів видачі дозволів на експлуатацію РЕЗ передусім перевірка параметрів частотного присвоєння і технічних характеристик РЕЗ у місці розташування (точніше, у місці розташування його антенної системи) проведенням первинного технічного контролю (ПТК). Роботи з радіомоніторингу під час проведення ПТК включають у себе інструментальне оцінювання (вимірювання) і контроль технічних параметрів випромінювання РЕЗ, що плануються до введення в дію, за допомогою радіоконтролю дистанційними методами на предмет їхньої відповідності дозволеним значенням, а також визначення поточного стану використання присвоєної частоти (смуги частот) іншими РЕЗ оцінюванням зайнятості частоти (смуги частот) і рівня сигналу.

Аналогічні роботи виконуються з використанням засобів радіомоніторингу у процесі проведення натурних випробувань (НВ) і тестових випробувань (ТВ). При цьому для виконання зазначених робіт залучаються як стаціонарні, так і мобільні багатофункціональні станції радіомоніторингу (МСРМ загального призначення). Під час проведення НВ технічному контролю підлягають технічні параметри й характеристики певного (конкретного) РЕЗ, стосовно якого проводяться НВ.

Необхідною умовою проведення ТВ є наявність інформації (даних) про зайнятість смуги частот та результати періодичного контролю параметрів і характеристик РЕЗ, відносно якого здійснюється планування, та інших РЕЗ, які працюють у смузі частот, що аналізуються.

9.1.7.5. Завдання служби радіомоніторингу у процесі експлуатації РЕЗ

Одним із основних завдань служби радіомоніторингу є контроль параметрів випромінювання РЕЗ на етапі їх експлуатації, який виконується з метою:

- перевірки їхньої відповідності умовам виданих ліцензій, дозвільних документів (дозволів) на експлуатацію та вимогам нормативних документів (норм);
- виявлення причин відхилення параметрів випромінювання РЕЗ у процесі експлуатації і розробка відповідних пропозицій (рекомендацій) щодо усунення цих причин;
- виявлення порушень у сфері використання РЧР і користування РЧР, зокрема передавачів, що діють незаконно (ПДН) і РЕЗ, що порушують дозволені умови експлуатації;
- перевірки реального стану електромагнітної обстановки, зумовленої роботою певного РЕЗ, і ЕМС його з іншими РЕЗ;
- виявлення та усунення дії радіозавад РЕЗ, що мають дозволи на експлуатацію, та радіозавад приймачам звукового й телевізійного мовлення.

Через завершення в більшості країн процесів створення первинного шару покриття мереж операторами стільникового зв'язку та внаслідок дедалі зростаючої кількості РЕЗ радіоконтроль індивідуальних параметрів окремих РЕЗ (БС) у мережах стільникового зв'язку перетворився на доволі складний і витратний захід. Оскільки в мережах зв'язку одного оператора, як правило, використовується однотипне обладнання, то вимоги до забезпечення ЕМС РЕЗ у мережах зв'язку одного оператора та між РЕЗ у мережах інших операторів є доволі уніфікованими. Водночас через необхідність оптимізації пара-

метрів мереж вимоги до характеристик РЕЗ значною мірою лібералізовано. У дозволах на експлуатацію РЕЗ (БС і ретрансляторів) визначаються ліцензовані смуги частот і граничні параметри радіовипромінювання.

Не можна, утім, не враховувати й того, наскільки швидко зростають вимоги до якості послуг, що надаються в мережах зв'язку. Тому в більшості країн ЄС від моніторингу частотних каналів та індивідуальних параметрів випромінювання РЕЗ перейшли до моніторингу параметрів мереж, які характеризують щільність покриття та якість надання послуг [69–71]. Вимоги до параметрів покриття та якості зв'язку в мережі в такому разі мають бути відображені в особливих умовах ліцензії та нормативних документах щодо якості зв'язку.

Аналогічні вимоги можуть бути висунені до покриття мовних передавачів (телевізійного й звукового мовлення) в УКХ діапазоні.

Завдання на проведення перевірки характеристик частотного присвоєння та технічних параметрів РЕЗ можуть ставитися з боку підрозділів служби планування та регулювання використання РЧР у разі виникнення радіозавад систематичного характеру, що свідчатиме про невірогідність результатів обчислень, проведених з урахуванням заявлених параметрів і характеристик. Такі роботи система радіомоніторингу може виконувати самостійно в разі надходження заявок від користувачів РЧР щодо появи (наявності) радіозавад.

9.1.7.6. Завдання служби радіомоніторингу після анулювання дозволів на експлуатацію РЕЗ

Оцінювання зайнятості частот (смуг частот, частотних каналів), які раніше використовувалися РЕЗ, здійснюється і після анулювання дозволів на експлуатацію РЕЗ на постійній плановій основі, але з меншою періодичністю, що відповідає умовам загального моніторингу зайнятості спектра.

Безперервний контроль наявності випромінювань на частотах (у смугах частот) роботи РЕЗ, відносно яких анульовано дозволи на експлуатацію, здійснюється з метою уникнення неліцензійного (незаконного) використання ними цих частот (смуг частот), отримання даних щодо доступності частот (смуг частот) і можливості подальшого використання (присвоєння).

9.2. Методи проведення радіомоніторингу

9.2.1. Загальні положення

Нині, на жаль, немає загальноприйнятого терміна для позначення методів проведення радіомоніторингу.

Загалом варто зазначити, що за способом та місцем і характером взаємодії об'єкта (РЕЗ, ВП) та суб'єкта радіомоніторингу (засіб радіомоніторингу) у процесі виконання радіомоніторингу обидва його складники (безпосередній моніторинг спектра і (технічний) радіоконтроль параметрів радіовипромінювання) належать до категорії заходів, що реалізуються застосуванням *дистанційних методів*, які базуються на проведенні аналізу *радіовипромінювань*, що поширюються у просторі та приймаються антенними системами технічних засобів радіомоніторингу (раніше для характеристики таких методів застосовувався термін «за ефіром» або «за полем»).

Радіомоніторинг реалізується за допомогою методів, що включають у себе:

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

- 2) спостереження за радіовипромінюваннями в певному діапазоні (смугі) частот (на заданій частоті);
- 3) селекцію радіовипромінювань;
- 4) інструментальне оцінювання (вимірювання) параметрів радіовипромінювання;
- 5) радіопеленгування джерел радіовипромінювання (ДРВ);
- 6) визначення місцезнаходження (географічних координат) ДРВ;
- 7) ідентифікацію радіовипромінювання і ДРВ;
- 8) оцінювання показників якості обслуговування (*Quality Operating Service — QOS*) і якості послуг (*Quality of Service — QoS*).

9.2.2. Пошук і виявлення радіовипромінювання

Для пошуку й виявлення радіовипромінювання проводять короткочасне вибіркоче (іноді — періодичне) спостереження у визначених смугах радіочастот або на визначених частотах скануванням цих частот (смуг частот) і ухваленням рішення щодо наявності (або відсутності) сигналу у вибірці (іноді цей метод називається пошуковим радіоконтролем) і виявленням радіовипромінювань, присутніх у цих смугах частот (на цих частотах). Під виявленням радіовипромінювання розуміємо ухвалення рішення щодо його наявності (чи відсутності) в аналізованій вибірці*.

Пошук і виявлення радіовипромінювання здійснюється, як правило, застосуванням стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу, що входять до системи радіомоніторингу. Портативні засоби радіоконтролю використовуються лише тоді, коли радіоконтроль здійснюється у смугах частот понад 3 ГГц (або 6 ГГц, залежно від робочої смуги частот радіоконтрольного засобу) або в місцях, де пошук радіовипромінювань іншими засобами (стаціонарними і мобільними СРМ) неможливий — в умовах щільної міської забудови, у гірській і важкопрохідній (для автомобільного транспорту) місцевості.

Ухвалення рішення про виявлення/відсутність радіосигналу (радіовипромінювання) здійснюється за енергетичним критерієм, тобто за критерієм перевищення/неперевищення виміряного рівня сигналу заданого порогу. Рішення про наявність/відсутність сигналу (випромінювання) може ухвалюватися як автоматично, так і оператором (візуально або «на слух»). Потенційні можливості з виявлення радіовипромінювань визначаються кількома чинниками, зокрема:

- технічними можливостями засобу радіомоніторингу, передусім чутливістю радіоприймального пристрою (РПП) і характеристиками спрямованості антени (радіовипромінювання з однаковим рівнем можна не виявити навіть із застосуванням РПП або аналізатора спектра з високою чутливістю на неспрямовану антену, але виявити засобом (аналізатором спектра) з меншою чутливістю в разі використання спрямованої антени);

* При цьому потрібно мати на увазі, що в реальних умовах у процесі радіоконтролю виявляються *не радіовипромінювання* і вимірюються *не параметри радіовипромінювання*, а реєструється наявність *радіосигналу* на виході радіоприймального пристрою у вигляді *відгуку* приймального тракту засобу радіомоніторингу на зовнішні дії на його антену, а також вимірюються параметри цього *радіосигналу*, які потім *перераховуються* в параметри *радіовипромінювання*. Найпростішим підтвердженням цього положення є реєстрація на виході радіоприймального пристрою реальних радіосигналів, зумовлених наявністю інтермодуляційних ефектів або іншими спотвореннями радіосигналів у вхідних колах засобу (як відгуків на віртуальне випромінювання).

● особливостями параметрів радіовипромінювання РЕЗ певної радіотехнології, зокрема спектральною густиною потужності та еквівалентною ізотропно випромінюваною потужністю (ЕВП) передавача, шириною смуги частот, типом модуляції тощо (наприклад, візуальне виявлення радіовипромінювання РЕЗ, що працює із застосуванням стрибкоподібної зміни частоти, засобами радіомоніторингу загального призначення (СРМ загального призначення, а також аналізаторами спектра і вимірювальним РПП) практично неможливе).

У разі використання автоматизованих стаціонарних комплексів (станцій) радіомоніторингу відповідне рішення ухвалюється автоматично за певними критеріями, які можуть бути визначені заздалегідь або задані оператором для конкретного випадку контролю. Проте в деяких випадках (зокрема, у разі проведення пошуку та виявлення випромінювань малопотужних або широкутлових передавачів) оператор взагалі може не отримати ніякої інформації стосовно наявності радіовипромінювання та значень параметрів радіосигналів. Це зумовлено необхідністю мати для аналізу достатньо великі значення рівнів сигналів, щоб можна було отримати вірогідні дані за результатами вимірювань деяких параметрів. Наприклад, загальноприйнятий рівень, на якому має вимірюватися ширина контрольної смуги частот, становить мінус 30 дБ. А згідно з вимогами Рекомендації ІТУ-Р SM.443 [72] вимірювання ширини займаної смуги частот може виконуватися на певному рівні*, значення якого залежно від класу радіовипромінювання може змінюватися від мінус 25 до мінус 35 дБ, хоча рівень сигналу, що аналізується, може бути значно меншим за ці межі.

У реальних умовах істотний вплив на ухвалення рішення про наявність/відсутність радіосигналу (радіовипромінювання) мають і такі чинники, як електромагнітна обстановка в місці проведення робіт (відношення сигнал/шум або сигнал/радіозавада, наявність сторонніх випромінювань та радіозавад як у смузі частот, що аналізується, так і позасмугових випромінювань) і рівень кваліфікації оператора (правильність вибору місця та часу проведення робіт у разі використання мобільних або портативних засобів, вибору антени, задання режимів і параметрів роботи засобу тощо).

Для пошуку та виявлення радіовипромінювань виконуються такі процедури:

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

2) сканування заданої смуги частот;

3) виявлення радіосигналів.

Як уже зазначалося, під виявленням радіосигналу розуміємо процес ухвалення рішення про наявність чи відсутність корисного сигналу в аналізованій вибірці коливань, що приймаються [73; 74]. Теоретичну основу розв'язання завдання з виявлення радіосигналу становить статистична теорія синтезу оптимальних алгоритмів.

* Це зумовлено тим, що в абсолютній більшості комплексів радіомоніторингу вітчизняного виробництва немає змоги вимірювати ширину займаної смуги частот методом, в основу якого покладено критерій відношення потужностей.

Принагідно зазначимо, що у відомій нині науково-технічній літературі немає жодної інформації щодо критеріїв ухвалення рішення про виявлення радіосигналів (радіовипромінювання), окрім згаданого раніше положення: *рішення про наявність/відсутність сигналу ухвалюється за фактом, що виміряне значення рівня сигналу перевищує/не перевищує заданий пороговий рівень $E_{\text{пор}}$* .

Якщо існує відповідна апріорна інформація, то для ухвалення рішення про наявність 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 пропускання сигналу за умови фіксованого значення ймовірності хибного виявлення. Потрібно також ураховувати, що ймовірність виявлення сигналу безпосередньо пов'язана з тривалістю аналізу та швидкістю сканування.

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

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

$$H = \begin{cases} H_0, & x_n \leq x_{\text{пор}}; \\ H_1, & x_n \geq x_{\text{пор}}. \end{cases} \quad (9.1)$$

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

Ухвалення рішення згідно з алгоритмом (10.1) призводить до поділу вибірки сигналів на дві підмножини складників: шумових і сигнальних. Проте насправді підмножина шумових складників, як правило, заздалегідь невідома, тому її рівень можна визначити лише наближено.

На практиці за умов апріорної невизначеності щодо положення сигналу на осі частот (у смузі частот аналізу) рівень шумів (суміші шумів і радіозавад) визначається на ділянці частот, вільній від сигналу. Однак провести таке вимірювання складніше, ніж здається на перший погляд, оскільки знайти такі «вільні» ділянки в деяких смугах частот (наприклад, у діапазонах частот роботи систем GSM-900, DCS-1800, WLAN, CDMA-800) практично неможливо. Збільшення тривалості пошуку (спостереження) та застосування режиму нагромадження відгуків спектра сигналу (MaxHold) забезпечує вищу ймовірність виявлення сигналів.

Проте потрібно враховувати, що складність розв'язання завдання з виявлення радіовипромінювання істотно різна для сигналів різних класів радіовипромінювання. Наприклад, виявлення широкосмугових сигналів за умови апріорної невизначеності щодо носійної частоти, ширини спектра сигналу, виду та параметрів модуляції, закону розподілу відгуків сигналу тощо являє собою досить складну проблему, яку не завжди можна розв'язати навіть автоматизованими способами. Оброблення вузькосмугових сигналів, які

характеризуються великим відношенням сигнал/шум, може успішно здійснюватися із застосуванням досить простої моделі спостережуваних процесів і вимагає мінімального обсягу апріорних 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 припадає на кожну частотну позицію, порівняний із рівнем адитивних шумів, що значно ускладнює їх виявлення. Але оскільки відомо, що такий сигнал багато разів щосекунди змінює свою частоту, то рівні миттєвої потужності його випромінювання на певних частотах у певні моменти часу бувають досить значними, що сприяє можливості виявлення такого сигналу на деяких частотних позиціях у разі, коли часовий інтервал аналізу радіообстановки збігається з інтервалом використання відповідної частотної позиції. При цьому залишається відкритим питання про те, належать ці позиції одному чи кільком РЕЗ, які, цілком можливо, працюють незалежно один від одного. Хоча факт виявлення такого сигналу можна вважати встановленим.

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

Загалом ефективність виявлення сигналів зі стрибкоподібною зміною частоти визначається, передусім, 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 значень h^2 відношення сигнал/шум наведено на рис. 9.7 (а — для випадків виявлення за одним відгуком 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) [7].

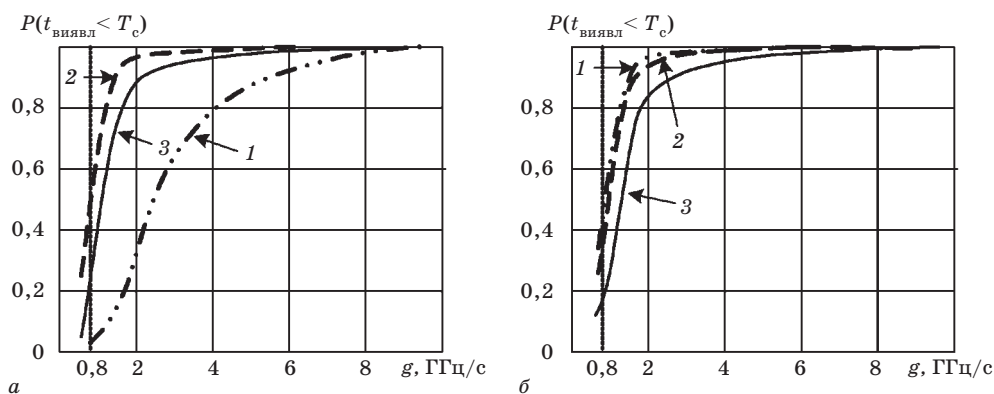


Рис. 9.7. Характеристики виявлення сигналу зі стрибкоподібною зміною частоти

Аналіз наведених графіків показує, що під час пошуку в широкій смузі частот виявлення сигналів зі стрибкоподібною зміною частоти можливе лише з використанням автоматизованих комплексів радіомоніторингу, які мають високу чи надвисоку продуктивність. У 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 трьох-шести незалежних вибірок.

Скористаємося широко відомим критерієм мінімізації середнього ризику при ухваленні рішення щодо виявлення вузькосмугових сигналів: *для виявлення вузькосмугового сигналу з імовірністю правильного виявлення $P_{\text{виявл}} = 0,5$ та ймовірністю «хибної тривоги» $P_{\text{х.т}} = 10^{-6}$ потрібне відношення сигнал/шум (сигнал/завада) має становити не менш як 13,2 дБ.*

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

В АСРМ пошук радіовипромінювання реалізується виконанням процедур, які включають у себе:

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

2) сканування визначених смуг радіочастот;

3) отримання результатів та їх аналіз;

4) виявлення необхідного радіовипромінювання.

Методи пошуку радіовипромінювання з певного напрямку реалізуються лише за умови застосування спрямованих антенних систем, які, на жаль, дуже рідко використовуються як у мобільних, так і в стаціонарних комплексах радіомоніторингу. Тому в цьому разі йдеться насамперед про розв'язання зазначеного завдання проведенням технічного радіоконтролю, а також про портативні (чи переносні) засоби, які забезпечують можливість радіоконтролю в заданому діапазоні (смузі) частот (на заданій частоті).

9.2.3. Спостереження за радіовипромінюванням

Спостереження за радіовипромінюванням являє собою процес тривалого та цілеспрямованого сприйняття інформації стосовно наявності радіовипромінювання в певному діапазоні (смузі) частот (на заданій частоті) та інструментального оцінювання значень відповідних параметрів. Спостереження 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).

У процесі спостереження виконуються такі процедури:

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);

3) виявлення (ухвалення рішення) наявності радіовипромінювання протягом певного інтервалу часу;

4) ідентифікація виявленого радіовипромінювання (радіосигналу) за критеріями схожості форми (обвідної) його спектра, динаміки існування, рівня, наявності характерних ознак спектра (характерних частот) із відомими;

5) інструментальне оцінювання значень заданих параметрів радіовипромінювання;

6) узагальнення результатів.

Сканування певної смуги частот здійснюється за допомогою аналізатора спектра з використанням смугових фільтрів. Результатом проведення сканування є оцінка зайнятості певної смуги частот протягом заданого інтервалу часу (зазвичай цей інтервал становить 24 год). На підставі подальшого аналізу отриманих даних можна визначити інтервали часу, протягом яких кожний канал був зайнятий, ступінь зайнятості всієї смуги частот (тобто статичні характеристики зайнятості), а також динамічні характеристики його зайнятості (час найбільшого завантаження, розподіл навантаження на канал протягом доби тощо).

Сканування, зазвичай, здійснюється у фоновому режимі. У поєднанні з радіопеленгуванням сканування дає змогу оцінити зайнятість спектра (смуги частот) певним передавачем. Додатково можуть також оцінюватися технічні параметри й характеристики радіовипромінювання цього радіопередавача.

Вимірювання зайнятості певного каналу або кількох попередньо визначених каналів може бути довільно рознесеним у часі. У такому разі, як правило, вимірюється рівень сигналу та частка (у відсотках) часу, протягом якого він перевищує заданий пороговий рівень. Такі вимірювання зазвичай виконуються за допомогою вимірювального РПП, характеристики якого збігаються або максимально наближені до характеристик РЕЗ систем зв'язку, які працюють у цих каналах.

У разі **оцінювання зайнятості за допомогою сканування у фоновому режимі** разом із програмованим вимірюванням у певному частотному каналі фоновий режим має нижчий пріоритет вимірювального РПП, каналу обміну інформацією, процесора та сервера. Після завершення запланованих вимірювань система управління повертається до виконання перерваних вимірювань у фоновому режимі.

Визначення порогу зайнятості. Точне вимірювання рівня напруженості електромагнітного поля випромінювання потребує максимального наближення (узгодження) характеристик РПП (його амплітудно- та фазочастотної характеристик) до спектра сигналу, що аналізується. Окрім того, у разі обчислення (розрахунку) рівня напруженості електромагнітного поля через значення рівня сигналу на виході РПП параметри антенно-фідерного тракту мають бути калібровані. Також мають бути забезпечені часові й територіальні умови з метою наближення до статистичної обробки результатів вимірювань. У протилежному разі результати «вимірювання» можуть розглядатися лише як оцінні, орієнтовні (наближені).

У режимі фоновому вимірювання рівень сигналу на виході аналізатора спектра може дати лише наближену, хоча, можливо, фактичну оцінку рівня

напруженості електромагнітного поля (і рішення про наявність/відсутність сигналу) для заданого порога вимірювання рівня сигналу. Цей поріг може бути визначений (розрахований) теоретично як припустимий рівень поля радіозавади (шуму). Як такий рівень може використовуватися значення чутливості типового РПП у частотному піддіапазоні (смузі частот), що підлягає моніторингу, або рівень індустриальних завод (шуму), виміряний практично за відсутності реальних сигналів. Типові значення рівнів порогів для деяких найпоширеніших частотних піддіапазонів для рухомої радіослужби наведено в табл. 9.1 [75–78].

Таблиця 9.1

Типові значення рівнів порогів для найпоширеніших частотних піддіапазонів рухомої служби

Піддіапазон частот, МГц	Пороговий рівень, дБмкВ/м	Пороговий рівень, дБп
33...47	0	мінус 109,2
47...58	6	мінус 105,2
150...168,5	12	мінус 109,3
410...470	20	мінус 110,1
824...960	26	мінус 110,2
1710...1785; 1805...1880 (тільки для радіотехнології GSM1800)	35	мінус 107,2
1900...1980, 2020...2025, 2110...2170 (тільки для радіотехнології IMT-2000/UMTS)	21	мінус 122,0

Для перерахунку порогового рівня сигналу зі значення напруженості електромагнітного поля E , дБмкВ/м, у значення потужності P , дБп (децибелі за потужністю), сигналу на вході РПП застосовуються відомі формули [78]:

$$E = P + C. \quad (9.2)$$

Тут

$$C = 20 \lg f + 77,2 \text{ дБ} - G_1 + L_{з'єдн}, \quad (9.3)$$

де E — напруженість електромагнітного поля; P — виміряне значення потужності; C — коефіцієнт перетворення (перерахунку); f — частота (у розрахунках береться як середня частота піддіапазону), МГц; $L_{з'єдн}$ — значення втрат у з'єднаннях, дБ; G_1 — коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропної антени.

Зазвичай під час оцінювання параметрів покриття визначається рівень напруженості поля для абонентських радіостанцій. Здебільшого для стандартних радіостанцій можна взяти умову

$$-G_1 + L_{з'єдн} = 0. \quad (9.4)$$

На практиці технічні параметри РПП, що використовуються в СРМ та спеціалізованих станціях технічного контролю, не стандартизовані і відрізняються для різних засобів. Тому необхідно враховувати їхні характеристики як складову частину калібрування приймального тракту.

Результати калібрування зберігаються у спеціалізованому програмному забезпеченні (СПЗ) і використовуються при проведенні вимірювань як калібрувальні коефіцієнти. Це дозволяє вважати, у першому наближенні,

приймальний тракт практично ідеальним (принаймні каліброваним). Потрібно враховувати, що залежно від завантаження частотного піддіапазону і місця проведення вимірювання може задаватися інший, як правило, вищий (на практиці понад 3 дБ) поріг для визначення зайнятості [13].

Під час вимірювання *зайнятості певного (конкретного) частотного каналу* використовується критерій мінімально припустимого рівня корисного сигналу. Згідно з цим критерієм рівень напруженості поля корисного сигналу в зоні обслуговування має бути не нижчим за

$$P_{\text{пр.мін}} + A, \quad (9.5)$$

де $P_{\text{пр.мін}}$ — чутливість приймача, дБ; A — захисне відношення, дБ, яке визначається за вимогами стандартів на типові обладнання для окремих частотних піддіапазонів або розраховане за відомою методикою [79].

Час, потрібний для оцінювання смуги частот, визначається комбінацією таких даних, як:

- час сканування каналу;
- типова тривалість передавання;
- потрібна точність оцінювання зайнятості.

Час сканування каналу у смузі частот залежить від швидкості сканування та кількості каналів. Типова тривалість передавання, як правило, становить кілька секунд. Потрібна точність визначається розрізнявальною здатністю вимірювання.

Спеціальні вимоги до вимірювального обладнання з автоматичним визначенням параметрів зайнятості спектра вузькосмуговими сигналами наведено в табл. 9.2. Деякі обмеження до процедур автоматизованого вимірювання характеристик вузькосмугових сигналів і рівня напруженості електромагнітного поля випромінювання наведено у [80].

Таблиця 9.2

Вимоги до параметрів вимірювального обладнання

Загальна смуга частот	Щонайменше від 9 кГц до 10 ГГц
Смуга частот сканування	Змінна, зазвичай від 20 кГц до 5000 кГц — для аналогового обладнання та від 20 кГц до 100 МГц — для цифрового обладнання
Кількість сканувань за хвилину	Змінна, від 6 до 6000 (можливість ручного припинення на потрібній частоті)
Максимальна швидкість сканування	Змінна, залежно від потрібного розрізнення за частотою та класом випромінювання
Чутливість	Не нижча за 1мкВ/м, згідно з піддіапазоном частот (у смузі до 2,7 ГГц)
Ширина смуги розрізнення	Змінна, від 10 Гц до 10 кГц, згідно з піддіапазоном частот (у смузі до 2,7 ГГц)

9.2.4. Селекція радіовипромінювань

Під селекцією випромінювань розуміють поділ їх на групи за одним або кількома формальними ознаками (критеріями). Мета проведення селекції — виявлення радіовипромінювань, які належать до певної групи (категорії). Вибір критерію залежить від змісту поставлених завдань. До найпопулярніших критеріїв належать:

- діапазон або смуга частот аналізу;
- значення робочої частоти;
- вид спектра випромінювання та ширина смуги частот спектра;
- вид модуляції;
- рівень сигналу.

Окрім того, можуть використовуватися такі критерії, як напрям надходження сигналу, часові характеристики роботи передавача і навіть наявність/відсутність відомостей про РЕЗ, якому належить дане випромінювання, у базі даних (БД) обліку РЕЗ (група «невідомі випромінювання»).

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) ухвалення рішення щодо 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 із ідентифікацією радіовипромінювань проводиться, аби встановити, який саме РЕЗ є джерелом аналізованого радіовипромінювання.

Завдяки наявності й можливості використання на автоматизованих робочих місцях (АРМ) АСРМ класифікаторів РЕЗ і радіовипромінювань, а також можливості застосування результатів виконання попередніх завдань радіомоніторингу, які зберігаються в БД радіообстановки, значно спрощується проведення селекції.

9.2.5. Вимірювання параметрів радіовипромінювання

Під *вимірюванням (інструментальним оцінюванням) параметрів радіовипромінювання* розуміємо відображення фізичних величин їхніми значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів [14].

Відмінність процедури вимірювання від виявлення полягає в тому, що в останньому випадку для ухвалення рішення про наявність сигналу достатньо встановити факт, що рівень сигналу *перевищує* заданий *пори́г виявлення* відносно рівня шуму. Що ж до значення вимірюваного параметра, то воно визначається за відповідністю його заданому критерію*.

Проте єдиного алгоритму для виконання вимірювання всіх параметрів радіовипромінювання не існує. Наприклад, за частоту немодульованого або модульованого вузькосмугового радіовипромінювання береться значення частоти, яке відповідає *максимальному значенню* обвідної амплітудно-частотного спектра сигналу, що відображає прийняте радіовипромінювання, яке аналізується (рис. 9.8, а). В інших випадках за значення робочої частоти радіовипромінювання береться середнє значення, розраховане за

* Застосування терміна «вимірювання» для характеристики процесу відображення значення технічного параметра радіовипромінювання (певної фізичної величини — рівня сигналу, частоти, ширини спектра частот тощо) їхніми значеннями за результатами оцінювання дистанційними методами неправомірно. Однією з основоположних вимог, що висуваються до процесу вимірювання, є забезпечення *єдності вимірювань*, тобто умов (стану), за яких «...*характеристики помилок або невизначеності вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі*» [117]. На жаль, забезпечити цю вимогу в реальних умовах електромагнітної обстановки неможливо. Тому часто для характеристики зазначеного процесу більш коректним є термін «інструментальне оцінювання».

формулою

$$f_{\text{ср}} = (f_{\text{в}} + f_{\text{н}})/2, \quad (9.6)$$

де $f_{\text{в}}$ і $f_{\text{н}}$ — значення відповідно верхньої і нижньої частоти спектра, визначене на заданому рівні відносно максимуму обвідної спектра.

Значення ширини смуги частот (ширини спектра) радіовипромінювання (радіосигналу) може визначатися як за критерієм «відношення потужності» (так званий метод $\beta/2$) (рис. 9.8, б), так і на певному рівні відносно суцільної вершини обвідної спектра сигналу (так званий метод X дБ).

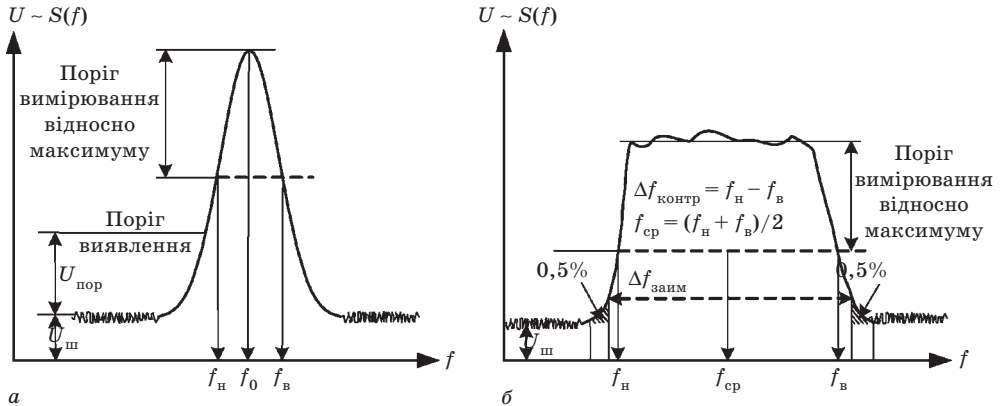


Рис. 9.8. Виявлення і вимірювання параметрів сигналів ($U_{\text{ш}}$ — середній рівень шуму)

Значення девіації частоти ЧМ коливання розраховується як різниця між максимальним і мінімальним значеннями частоти, визначеними у процесі аналізу вимірюваних значень миттєвої ширини спектра випромінювання, тощо.

Для виконання коректного вимірювання рівня широкосмугового сигналу має використовуватися метод вимірювання каналної потужності.

Для отримання більш вірогідних результатів вимірювання параметрів радіовипромінювання рекомендується застосовувати режим утримання максимальних значень вимірюваних параметрів — режим MaxHold.

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

- 1) проведення панорамного спектрального аналізу у смузі частот, в якій планується вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів певного радіовипромінювання;
- 2) виявлення необхідного радіовипромінювання та орієнтовне визначення напрямку на його джерело із застосуванням неспрямованих або слабо спрямованих антен;
- 3) уточнення напрямку на ДРВ застосуванням гостроспрямованих 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 на предмет відсутності (наявності) сторонніх радіовипромінювань та, за їх наявності, орієнтовне оцінювання ступеня можливого впливу цих випромінювань на вірогідність вимірів;

6) постановка завдання щодо вимірювання (інструментального оцінювання) параметрів радіосигналу (рівня, частоти, стабільності частоти, зсуву частоти, девіації частоти, ширини смуги частот сигналу, чипової швидкості тощо), обчислення параметрів радіовипромінювання (напруженості електромагнітного поля, густини 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 оснащено управління радіочастотного моніторингу (УРЧМ) та підрозділи радіочастотного контролю в регіональних філіях УДЦР, полягає в тому, що в абсолютній більшості комплексів немає спрямованих вимірювальних антен, а тому всі вимірювання проводяться із застосуванням неспрямованих антен.

У зв'язку з уніфікацією інтерфейсу користувача абсолютної більшості автоматизованих стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу проведення інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання, зазвичай, також стандартизовано й реалізується виконанням таких процедур:

1) проведення панорамного спектрального аналізу у визначеній смузі частот;

2) візуальне виявлення радіовипромінювань, 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 вірогідність вимірів;

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

5) постановка завдання щодо проведення інструментального оцінювання параметрів радіосигналу;

6) отримання та аналіз результатів інструментального оцінювання.

Для отримання якомога більшої вірогідності вимірів вимірювання потрібно повторити кілька разів і застосувати режим нагромадження результатів (режим MaxHold).

У разі визначення ширини контрольної чи займаної смуги частот шляхом її вимірювання на певному рівні необхідно впевнитися в тому, що рівень сигналу, який аналізується, принаймні на 5 дБ перевищує заданий рівень, а ширина аналізованої смуги частот 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 і транкінгового радіозв'язку. Окрім використання результатів оцінювання за цільовим призначенням

(як наслідку виконання завдання) можливе також застосування їх 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 перебувають за межами зон радіодосягнення стаціонарних радіоконтрольних постів (РКП), а також для виявлення радіозавад у разі проведення моніторингу спектра із застосуванням мобільних засобів.

9.2.6. Радіопеленгування джерел радіовипромінювань

Під *радіопеленгуванням* (радіопеленгацією) розуміємо процес визначення напрямку (пеленгу) на джерело радіовипромінювання за результатами аналізу характеристик випромінювання технічними засобами. Здебільшого цей напрям визначається відносно якогось заданого напрямку, роль якого зазвичай відіграє азимутальний напрям на магнітний полюс («північ»).

Іноді *пеленгуванням* називають процедуру визначення азимуту на джерело випромінювання реєстрування напрямку оптичної осі спрямованої антени, який відповідає максимальному значенню рівня прийнятого сигналу, у процесі змінювання її положення в азимутальній площині. Проте в останньому випадку правильніше було б говорити лише про *напрямок на джерело радіовипромінювання*.

Утім пеленгування має характер не цільової, а скоріше, допоміжної процедури: найчастіше результати пеленгування використовуються для визначення місцезнаходження джерела радіовипромінювання триангуляційним методом (за двома або більшою кількістю пеленгів).

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

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

9.2.7. Визначення місцезнаходження ДРВ

Під *визначенням місцезнаходження джерела радіовипромінювання* розуміють визначення його географічних координат за допомогою технічних засобів радіомоніторингу [11]. Процедура визначення місцезнаходження ДРВ під час проведення радіомоніторингу ґрунтується на використанні результатів визначення напрямів (пеленгів) на нього. Іноді для визначення географічних координат джерела випромінювання додатково використовуються такі параметри, як час затримки і/або рівень прийнятого сигналу. Зміст цієї

процедури має деякі відмінності залежно від типу застосовуваного обладнання. Наприклад, місцезнаходження ДРВ визначається по-різному в таких випадках:

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

- у разі застосування мобільних комплексів (станцій) радіомоніторингу — спільним обробленням і розрахунком географічних координат ДРВ за результатами вимірювання пеленгів на ДРВ із кількох територіально рознесених пунктів за маршрутами руху комплексів (із використанням методу сукупного оброблення пеленгів на певне ДРВ, отриманих у процесі руху транспортного засобу, який у деяких науково-технічних джерелах помилково називають *методом широкоапертурної антени* [3], цей самий метод іноді називають також *методом синтезованої апертури*).

Визначення місцезнаходження ДРВ АСРМ здійснюється використанням лише автоматизованих стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу та ґрунтується на застосуванні результатів пеленгування цього ДРВ.

У разі залучення автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу місцезнаходження ДРВ визначається за класичним методом як точка перетину щонайменше двох пеленгів на ДРВ, виміряних із різних територіально рознесених позицій (СРМ, включених до єдиної пеленгаторної мережі, які працюють у режимі синхронного пеленгування), за допомогою таких процедур:

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

- 2) поставлення завдання (за відсутності сторонніх випромінювань) на проведення синхронного пеленгування на певній частоті радіовипромінювання для кількох (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 усередненням отриманих результатів.

У разі застосування мобільних комплексів радіомоніторингу місцезнаходження ДРВ визначається так званим *методом сукупного оброблення пеленгів*.

На практиці припускається використання одного стаціонарного пеленгатора. Тоді другий пеленг визначається за допомогою МСРМ загального призначення, оснащеної радіопеленгатором.

Принципи, методи й особливості визначення місцезнаходження (географічних координат) ДРВ докладніше розглянуто в [3; 7–10].

9.2.8. Ідентифікація радіовипромінювань і ДРВ

Під *ідентифікацією радіовипромінювання* розуміють його класифікацію (віднесення до певного класу чи групи), що передбачає визначення характерних ознак цього випромінювання та порівняння його властивостей

із відомими. Ідентифікація радіовипромінювання потрібна, по-перше, для проведення ідентифікації ДРВ, а по-друге, для задання режимів вимірювання параметрів радіовипромінювання (тривалості та періодичності аналізу тощо) і визначення його характеристик (наприклад, виду модуляції, ширини смуги частоти швидкості сканування, розрізнення за частотою, рівня загасання атенюатора тощо). Процедура ідентифікації може також застосовуватися щодо нових або невідомих радіовипромінювань.

На практиці для ідентифікації радіовипромінювань застосовується дво-ступенева процедура їх розпізнавання:

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

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

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

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

У другому випадку для розпізнавання беруться до уваги 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 — неперервний або пакетний, тривалість часового інтервалу, швидкість переходу між часовими інтервалами тощо);
- вид і характеристики модуляції.

Аналіз структури параметрів радіосигналів (параметрів радіовипромінювання) із подальшим статистичним обробленням інформації про параметри випромінювання РЕЗ належить 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, притаманні випромінюванню конкретного передавача.

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

Ідентифікація аналогових радіосигналів здійснюється виконанням 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 подання, частотно-часове відтворення сигналу для визначення його виду, 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 визначенням взаємної кореляції обвідної спектра аналізованого сигналу з обвідними спектрів сигналів, які зберігаються в базі даних радіообстановки комплексів (сигналів, які було раніше зареєстровано у процесі проведення радіоконтролю).

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

Проте оскільки радіомоніторинг здійснюється постійно, то це забезпечує досить високу ефективність ідентифікації радіосигналів (особливо аналогових ЧМ сигналів) та ідентифікацію ДРВ.

Під *ідентифікацією ДРВ* розуміють визначення належності даного електромагнітного випромінювання до конкретного джерела на основі аналізу та порівняння характеристик цього випромінювання з відомими [11]. Метою проведення ідентифікації ДРВ є перевірка виконання певним користувачем РЧР умов дозвільних документів, норм і правил у сфері користування РЧР.

З нормативної точки зору проведення ідентифікації джерел випромінювань базується на положенні ст. 18 Регламенту радіозв'язку, про те, що «все передачі должны обеспечивать их распознавание на основе использования характерных признаков или иными методами». Процедури розпізнавання та приклади розпізнавальних ознак для станцій радіомовної служби наведено в [3]. Такими ознаками можуть бути:

- позивний сигнал;
- назва радіостанції;
- пеленг на ДРВ (радіостанцію) або географічні координати РЕЗ;
- назва організації, що експлуатує радіостанцію;
- офіційний реєстраційний номер;
- розпізнавальний номер рейсу (для літака);
- характеристики випромінювання або характерний сигнал;
- інші ознаки, які забезпечують розпізнавання радіовипромінювання в міжнародному масштабі.

Ідентифікація ДРВ здійснюється застосуванням таких операцій:

Крок 1. Здійснення ідентифікації радіовипромінювання визначенням характеристик та інструментальним оцінюванням параметрів радіовипромінювання, а також його класифікації.

Крок 2. Перевірка можливої належності даного радіовипромінювання якомусь із відомих передавачів (РЕЗ) із БД обліку РЕЗ або передавачів, відомості про які містяться в БД обліку частотних присвоєнь, а відповідні випромінювання було раніше зареєстровано засобами радіоконтролю.

Крок 3. Ухвалення рішення щодо належності певного радіовипромінювання конкретному передавачу (РЕЗ).

9.2.9. Оцінювання показників якості обслуговування та якості послуг зв'язку

Інструментальне оцінювання показників якості обслуговування (Quality Operating Service — QOS) і показників якості надання послуг (Quality of Service — QoS) реалізується лише використанням спеціалізованих мобільних комплексів радіоконтролю мереж загального користування, таких як мережі стільникового зв'язку, WLAN, цифрового телевізійного та звукового мовлення, і виконується об'їздом МСРМ передбачуваної зони радіопокриття БС (передавачів) і мереж зв'язку та проведенням інструментального оцінювання рівня напруженості поля випромінювання в заданих смугах частот (на заданих частотах).

За цим методом:

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

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

Оцінювання показників якості телекомунікаційних послуг (QoS) здійснюється контролем ступеня спотворення вихідної інформації (зображення, звуку, даних, що передаються) порівняно з еталонною або ступеня невідповідності її вимогам, що висуваються. У разі аналогового телебачення якість послуг оцінюється показником, який відбиває суб'єктивне сприйняття спотворення зображення на екрані телевізора (телевізійного приймача).

Якість послуг мереж стільникового зв'язку оцінюється такими безрозмірними величинами, як *доступність зв'язку, безперервність зв'язку, повнота послуги, безперервність послуги, доступність послуги* і т. ін. Перелік телекомунікаційних послуг мереж рухомого зв'язку визначено стандартом ETSI TS 102 250 [81]. До основних послуг належать:

- послуги телефонії;
- послуги передавання коротких текстових повідомлень (SMS);
- послуги передавання мультимедійних повідомлень (MMS);
- послуги передавання даних.

Основним методом оцінювання зазначених показників якості є метод контрольних викликів.

9.2.10. Оцінювання ступеня покриття мереж стільникового зв'язку

Вимоги й методику визначення ступеня покриття території, населення і доріг, а також рівень блокування викликів і рівень втрат викликів розглянуто у [82].

Сутність методики перевірки ступеня покриття території полягає в отриманні від операторів відомостей про зони покриття (так звані *файли покриття*) і перевірки їх вірогідності проведенням НВ. Така процедура уможливорює обмеження кількості вимірювань для перевірки даних оператора. Визначення показників блокування та обриву здійснюється використанням спеціальних тестів. Зміст такої перевірки полягає у здійсненні послідовності контрольних викликів і оцінюванні кожного з'єднання залежно від ступеня його завершення. Мінімальна кількість викликів, потрібних для отримання

вірогідності оцінки, і коефіцієнти блокування та втрат (обривів) викликів віднімаються від загальної статистики за цією оцінкою.

Принципи визначення показників і методика оцінювання ступеня покриття території, населення, головних доріг (магістралей) і показників якості обслуговування в мережах GSM наведено далі.

9.3. Моніторинг спектра

Моніторинг спектра здійснюється з метою:

1) отримання кількісних оцінок ефективності використання РЧС та ступеня зайнятості смуг частот (радіочастотних каналів), у тому числі супутникових транспондерів;

2) надання допомоги системі планування та розподілу РЧР у частині перевірки умов виділення смуг радіочастот і частотоприсвоєнь, підтвердження правильності принципів перерозподілу смуг частот, правильності виконання розрахунків ЕМС РЕЗ, прогнозування ЕМС, виявлення конфліктних (з точки зору ЕМС) зон, перевірки відповідності зон радіопокриття передавачів (БС) радіотехнологій масового користування (телебачення, звукового мовлення, стільникового зв'язку і широкосмугового радіодоступу) умовам виданих ліцензій і т. ін.;

3) надання допомоги системі частотного менеджменту, а також міжнародним органам зі стандартизації параметрів випромінювань;

4) реалізації заходів з проведення досліджень у галузі області радіозв'язку та поширення радіохвиль в частині визначення необхідного частотного та географічного рознесення РЕЗ, захисних критеріїв, перевірки моделей поширення радіохвиль за запитами міжнародних і національних органів і організацій, проведення натурних випробувань на ЕМС діючих РЕЗ та РЕЗ на базі планованих до використання радіотехнологій.

Моніторинг спектра організовується:

- на підставі планових і/або позапланових завдань;
- на підставі заявок щодо наявності радіозавод для РЕЗ користувачів РЧР та громадян;
- за запитами системи планування та розподілу РЧР на проведення перевірки розрахункових умов ЕМС і т. ін.;
- за запитами державних та міжнародних органів регулювання у сфері використання РЧР та органів регулювання інших країн.

В абсолютній більшості випадків завдання моніторингу спектра реалізуються з використанням *стаціонарних* і, рідше, *мобільних засобів*.

Портативні засоби можуть застосовуватися для проведення моніторингу спектра лише у виняткових ситуаціях — у смугах частот та тих місцях, де проведення моніторингу з використанням інших засобів неможливе, а також для уточнення результатів, отриманих із використанням стаціонарних і мобільних засобів.

На жаль, нині немає будь-яких нормативних документів, що регламентують вимоги й методи проведення контролю зайнятості спектра та оцінювання ефективності його використання. Єдиними документами є Рекомендації МСЕ [80; 82–84], але вони мають лише рекомендаційний характер.

На практиці для проведення контролю зайнятості спектра та оцінювання ефективності його використання найчастіше застосовують два методи спостереження:

1) суб'єктивний, згідно з яким спостереження та оцінювання зайнятості (наявності випромінювання) оператори виконують «уручну» протягом певних інтервалів часу;

2) об'єктивний, коли ці спостереження здійснюються автоматично. Автоматичний контроль здійснюється двома методами:

1) періодичним скануванням заданої смуги частот від f_{start} до f_{stop} з використанням засобів радіомоніторингу, які працюють у режимі аналізатора спектра;

2) проведенням періодичних вимірювань за переліком заданих частотних каналів.

Найчастіше використовується другий метод, що ґрунтується на інструментальному оцінюванні рівня прийнятих сигналів на заданій частоті (у смузі частот) через короткі рівні між собою інтервали часу. Унаслідок такого вибіркового контролю вірогідність оцінки значною мірою залежить від багатьох факторів: загального часу спостереження, співвідношення інтервалу спостереження та тривалості сигналу, реальної зайнятості каналу (смуги частот) і т. ін. Кількість залежних і незалежних вибірок, потрібних для досягнення відносної точності 10% та вірогідності 95% для різних відсоткових часток зайнятості каналу, наведено в табл. 9.3.

Таблиця 9.3

Кількість залежних і незалежних вибірок

Частка зайнятості каналу, %	Кількість потрібних незалежних вибірок	Кількість потрібних залежних вибірок	Час, потрібний для вимірювання, год
6,67	5850	18166	20,18
10	3900	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

Таким чином, для досягнення відносної точності $\pm 10\%$ та вірогідності 95% у разі змінної зайнятості потрібний час спостереження становить:

- не менш як 6,5 год для рівня зайнятості 20%;
- близько 1,5 год для рівня зайнятості 100%.

Як уже зазначалося, функцію контролю зайнятості спектра реалізовано в більшості стаціонарних (транспортних) і мобільних станцій радіомоніторингу (радіоконтролю).

Моніторинг спектра реалізується з використання таких методів:

- пошук і виявлення радіовипромінювань у заданій смузі частот (на заданій частоті);
- спостереження за радіовипромінюванням у заданій смузі частот;
- селекція радіовипромінювань;

- вимірювання параметрів радіовипромінювань;
- ідентифікація радіовипромінювань і ДРВ.

Методи, процедури й технічні засоби, застосовувані для реалізації решти завдань моніторингу спектра, не регламентуються та визначаються конкретними завданнями.

Проведення моніторингу радіочастотного спектра організовується, 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 ситуаціях, коли проведення моніторингу з використанням інших технічних засобів неможливе, а також для уточнення результатів, отриманих із використанням мобільних комплексів радіомоніторингу.

За результатами оброблення даних радіомоніторингу:

- визначаються інтегральні оцінки та робляться висновки стосовно ступеня, ефективності й інтенсивності використання (зайнятості) смуг частот (частотних каналів, частот);
- надаються пропозиції щодо перерозподілу смуг частот із метою забезпечення ефективнішого використання РЧР;
- надається інформація про виявлені порушення у сфері користування РЧР, що може бути підставою для проведення технічного радіоконтролю чи реалізації заходів з усунення причин цих порушень або припинення роботи РЕЗ (ВП), які порушують установлені норми, правила чи вимоги дозвільних документів.

9.4. Радіоконтроль параметрів радіовипромінювання

Радіоконтроль здійснюється з метою:

- 1) перевірки дотримання користувачами РЧР установлених правил у сфері використання РЧР;
- 2) виявлення порушень у сфері використання РЧР для вжиття заходів із їх усунення;
- 3) забезпечення ЕМС РЕЗ;
- 4) виявлення випадків появи радіозавад і вжиття заходів з усунення їхньої дії (впливу) на РЕЗ;
- 5) надання інформації службі радіоінспектування про виявлені порушення користувачами порядку й правил використання РЧР;
- 6) сприяння міжнародним організаціям у проведенні великих спортивних і культурних заходів.

Зазначені завдання розв'язуються шляхом:

- виявлення радіовипромінювань, інструментального оцінювання їх технічних параметрів, ідентифікації та перевірки відповідності вимогам дозвільних і нормативних документів, у тому числі й вимогам національних та міжнародних документів, що регулюють правила впізнавання (позивні);
- перевірки правових підстав (наявності дозвільних документів) діяльності користувачів РЧР і функціонування РЕЗ і ВП із заданими параметрами й характеристиками;
- виявлення РЕЗ, які порушують умови виданих дозвільних документів і норм на параметри радіовипромінювань;
- участі в заходах системи міжнародного моніторингу з метою запобігання дії радіозавад у глобальному та регіональному масштабах, у тому числі у смугах частот служби рятування, сигналів біди;

- пеленгування, локалізації та визначення місцезнаходження (географічних координат) джерел небажаних випромінювань (випромінювань, які створюють завади) і передавачів, що порушують національні та міжнародні стандарти і норми на параметри радіовипромінювання.

Радіоконтроль (технічний радіоконтроль) може організовуватися:

- 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.

Радіоконтроль (раніше цей вид радіоконтролю називали *ефірним радіоконтролем*) проводиться, як правило, із використанням:

- стаціонарних засобів радіомоніторингу в зоні їхньої радіодоступності для здійснення радіоконтролю параметрів радіовипромінювань потужних передавачів радіомовної і радіолокаційної служб, деяких радіотехнологій рухомої радіослужби в УКХ діапазоні частот (транкінгового зв'язку), а також передачів у КХ діапазоні частот;
- багатофункціональних МСРМ поза зонами радіодоступності стаціонарних засобів для уточнення результатів радіоконтролю в їхніх межах;
- спеціалізованих мобільних станцій (лабораторій) технічного радіоконтролю;
- портативного (переносного) обладнання.

У загальному вигляді радіоконтроль реалізується з використанням розглянутих раніше методів. Принципова відмінність радіоконтролю (технічного радіоконтролю) від моніторингу спектра полягає в тому, що радіоконтроль здійснюється в *певному (конкретному) пункті* (на конкретній позиції) і здебільшого стосовно *конкретного РЕЗ*. Важливою перевагою радіоконтролю з використанням портативних вимірювальних засобів є можливість його проведення поблизу від місця, де розташовано РЕЗ або спостерігаються радіозавади. До основних завдань радіоконтролю, відмінних від завдань моніторингу спектра, відноситься оцінювання показників якості обслуговування та якості послуг мереж загального користування.

За результатами радіоконтролю робляться висновки про легітимність роботи певного (конкретного) РЕЗ (ВП) та відповідності параметрів і характеристик його радіовипромінювання вимогам нормативних документів, умовам виданих ліцензій і дозволів.

Загалом технічний радіоконтроль включає в себе:

- 1) пошук і виявлення радіовипромінювань у заданій смузі частот (на заданій частоті);
- 2) селекцію 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 (переносного) обладнання;
- 5) визначення місцезнаходження ДРВ;
- 6) ідентифікацію радіовипромінювання та ДРВ;

7) інструментальне оцінювання показників якості обслуговування та показників якості надання послуг.

1. Загалом *алгоритми виявлення радіовипромінювання*, які застосовуються під час проведення технічного радіоконтролю, не відрізняються від алгоритмів, використовуваних у процесі проведення моніторингу спектра. Відмінність полягає в тому, що пошук радіовипромінювання у процесі проведення технічного радіоконтролю організується в *певному пункті* (на певній позиції), а не на певній території, причому технічний радіоконтроль, як правило, реалізується використанням відповідних мобільних комплексів і портативних засобів. Пошук радіовипромінювання у процесі технічного радіоконтролю передбачає виконання таких процедур:

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

У разі використання спрямованих АС (із застосуванням портативного обладнання чи спеціалізованих мобільних станцій технічного радіоконтролю) пошук радіовипромінювання відбувається скануванням за різними напрямками (із різних напрямів).

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

- більшим розмаїттям видів радіосигналів, які можуть спостерігатися під час проведення технічного радіоконтролю (у тому числі, невідомих радіосигналів і радіозавад), та їхніх параметрів;
- неавтоматизованістю 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 передбачає:

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

3. Вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання у процесі технічного радіоконтролю із застосуванням автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу виконується такими самими методами, що й вимірювання під час моніторингу спектра.

Вимірювання (інструментальне оцінювання) параметрів радіовипромінювання в разі застосування спеціалізованих мобільних комплексів технічного радіоконтролю дещо відрізняється від розглянутого раніше вимірювання з використанням стаціонарних і мобільних засобів радіомоніторингу загального призначення. Це зумовлено розширеними можливостями таких комплексів, зокрема наявністю вимірювальних антен (антенних систем), можливістю просторової селекції радіовипромінювань за рахунок обертання антен в азимутальній площині та зміни кута їхнього нахилу тощо. Утім сам процес вимірювання (інструментального оцінювання), по суті, той самий, що й для автоматизованих стаціонарних комплексів радіомоніторингу. Його важлива перевага — це більша вірогідність вимірів завдяки можливості проведення контролю безпосередньо біля місця розташування РЕЗ (ВП) або в місці, де спостерігаються радіозавади.

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

1) проведення панорамного спектрального аналізу в смузі частот, в якій планується виконання радіоконтролю параметрів радіовипромінювання, із застосуванням неспрямованих або слабоспрямованих антен та обертанням їх в азимутальній площині;

2) візуальне виявлення запланованого радіовипромінювання;

3) установлення спрямованої вимірювальної антени та визначення орієнтовного напрямку на джерело, випромінювання якого аналізується;

4) аналіз заданої смуги частот і суміжних із нею смуг щодо відсутності (наявності) сторонніх радіовипромінювань, які можуть завадити проведенню контролю чи вплинути на його результати;

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

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

7) аналіз здобутих результатів.

У 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 спрямованості (ДС) його АС. При цьому потрібно застосовувати каліброване обладнання та спрямовані 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.

У деяких випадках (наприклад, у разі здійснення технічного радіоконтролю передавачів у мережах систем WLAN, GSM-900, DCS-1800) застосування зазначених 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 візуалізацією місцезнаходження антен їхніх передавачів.

4. Процедура визначення місцезнаходження ДРВ за допомогою стаціонарних і мобільних комплексів радіомоніторингу було розглянуто раніше.

Місцезнаходження ДРВ із застосуванням мобільних засобів радіоконтролю визначається:

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

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

3) безперервним вимірюванням пеленгів на контрольоване ДРВ у процесі руху мобільного комплексу;

4) визначенням орієнтовного місцезнаходження ДРВ і його географічних координат із застосуванням електронної карти місцевості;

5) здійсненням додаткового контролю випромінювання, місцезнаходження джерела якого визначається, аби переконатися в тому, що воно належить саме цьому ДРВ;

6) уточненням місцезнаходження передавача РЕЗ за допомогою візуалізації його АС.

Визначення місцезнаходження ДРВ із використанням портативного (переносного) обладнання ґрунтується на застосуванні спрямованих антен. Місцезнаходження ДРВ визначається триангуляційним методом як точка перетину кількох (щонайменше двох) пеленгів (напрямів), вимірянних на нього з кількох рознесених позицій, і реалізується виконанням 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 напрямів на карту місцевості;

4) визначення можливого місцезнаходження ДРВ за точкою перетину нанесених ліній;

5) виявлення антен (АС) передавача РЕЗ їх візуалізацією;

6) визначення географічних координат місцезнаходження ДРВ.

За результатами технічного радіоконтролю робляться висновки щодо легітимності роботи певного РЕЗ (ВП) та відповідності параметрів і характеристик його радіовипромінювання вимогам нормативних документів, умов наданих ліцензій і дозволів. У разі виявлення порушень вони можуть бути підставою для проведення поглибленого технічного радіоконтролю чи реалізації заходів, спрямованих на усунення їх 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 передавачів, що діють незаконно.

Оперативний технічний радіоконтроль проводиться за окремим завданням і/або 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.

9.5. Вимірювання параметрів радіовипромінювань

9.5.1. Вимірювання ширини смуги частот

Основні чинні в Україні нормативні документи, що регламентують проведення контролю ширини смуги частот радіовипромінювання, такі:

- 1) ГОСТ 30318-95 (у діапазоні частот від 10 кГц до 37,5 ГГц) [95];
- 2) Норми 19 (у діапазоні частот понад 37,5 ГГц) [96];
- 3) міжнародний Регламент радіозв'язку [12].

Відповідно до положень цих документів радіоконтроль ширини смуги частот РЕЗ або ВП необхідно здійснювати оцінюванням ширини цієї смуги та подальшим порівнюванням її значення з нормативним значенням ширини необхідної смуги частот (ШНСЧ) для класу контрольованого радіовипромінювання. Утім на практиці існують кілька різновидів поняття «ширина смуги частот». Так, у ГОСТ 30318-95 і документі Норми 19 йдеться про *ширину контрольної смуги частот (ШКСЧ) і ширину необхідної смуги частот*, а в Регламенті радіозв'язку — про *ширину займаної смуги частот (ШЗСЧ) і також про необхідну ширину смуги*. Окрім того, у Рекомендації ITU-R SM.443 запропоновано проведення вимірювання на рівні, меншому на X дБ від рівня випромінювання, взятого за 0 дБ [72].

З огляду на сказане слід констатувати, що нині вимірювання ширини смуги частот базується на застосуванні двох основних методів: один ґрунтується на вимірюванні ширини смуги частот на певному рівні відносно рівня випромінювання, взятого за 0 дБ (іноді цей метод зветься методом *за критерієм X дБ*), другий метод — на вимірюванні ширини займаної смуги частот (*метод вимірювання за відношенням потужностей*, або так званий $\beta/2$ -метод).

Необхідною смугою частот для певного класу радіовипромінювання називається *ширина смуги частот, достатня для забезпечення передавання інформації зі швидкістю та якістю, потрібними для заданих умов* [12].

Із цього визначення випливає, що ширина необхідної смуги частот радіовипромінювання є розрахунковою величиною, яка значною мірою залежить від параметрів самого випромінювання, але на значення якої також впливає РПП у сукупності з декодером — кінцевим пристроєм розшифрування сигналу. Тому ШНСЧ є системною характеристикою всього тракту передавання модульованого радіосигналу. Проте сама ШНСЧ ніяк не позначається на спектрі радіосигналу, тому принципово не може бути виміряна спектральним аналізом цього сигналу.

Вимоги до ШНСЧ для багатьох класів радіовипромінювання, зокрема для цифрових та імпульсних систем передавання, сформульовано як у Рекомендаціях ITU-R SM.853 [97], SM.1138 [98] та інших Рекомендаціях ITU-R, так і в чинних національних стандартах. При цьому числові значення ширини необхідної смуги частот визначаються за формулами, наведеними, зокрема, у ГОСТ 30318, Нормах 19, Регламенті радіозв'язку, звіті МККР № 836 [99], Рекомендаціях ITU-R SM.853 і SM.1138 тощо, відповідно до параметрів модуляції певного типу передавача, значення яких наводяться в технічних умовах на цей передавач. Наприклад, для розрахунку ширини необхідної смуги частот для радіосигналу з гауссівською маніпуляцією з мінімальним частотним зсувом (GMSK) Рекомендація ITU-R SM.853 пропонує застосовувати формулу

$$B = R + 2DK = 2(M + DK), \quad (9.7)$$

де $R = 2M$ — швидкість передавання даних, біт/с; $D = 0,25R$; K — коефіцієнт, який для різних рівнів відносної потужності β (1 і 0,1%) набуває відповідно значення мінус 0,28 і 0,18.

Ширина займаної смуги частот радіовипромінювання — це ширина такої смуги частот, за нижньою та верхньою межами якої середня випромінювана потужність дорівнює певній частці $\beta/2$ (у відсотках) всієї (загальної) середньої потужності даного випромінювання. Якщо в Рекомендації ITU-R не обумовлено іншого для відповідного класу випромінювання, то значення $\beta/2$ слід брати таке, що дорівнює 0,5% [12; 72].

У процесі визначення ШЗСЧ вважається, що в ній зосереджено $(100 - \beta)\%$ всієї потужності S_Σ прийнятого вимірювальними засобами сигналу, що випромінюється РЕЗ, а поза верхньою і нижньою межами зосереджено по 0,5% (S_H і S_B дорівнюють $0,005S_\Sigma$) потужності (рис. 9.9).

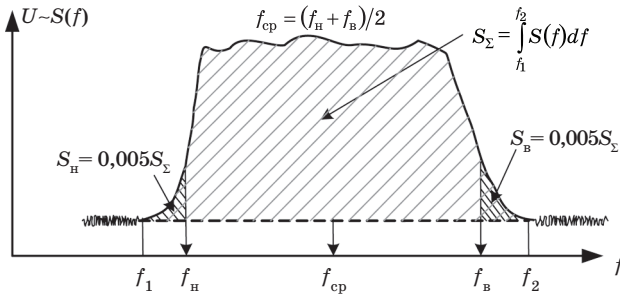


Рис. 9.9. Визначення ширини займаної смуги частот

Якщо виміряні значення ширини смуги частот не перевищують нормативного значення ШНСЧ для даного РЕЗ, то можна вважати, що параметри випромінювання передавача відповідають нормативним вимогам щодо ширини займаної смуги частот (рис. 9.10, а, б).

Випромінювання ШЗСЧ, B_3 якого дорівнює ШНСЧ B_H , вважається **досконалим**. Якщо $B_3 < B_H$, то потенційні можливості цього випромінювання не можуть забезпечити належної якості та швидкості передавання інформації для заданих умов. Якщо $B_3 > B_H$, то вважається, що смуга частот використовується неефективно й випромінювання вважається недосконалим (рис. 9.10, в).

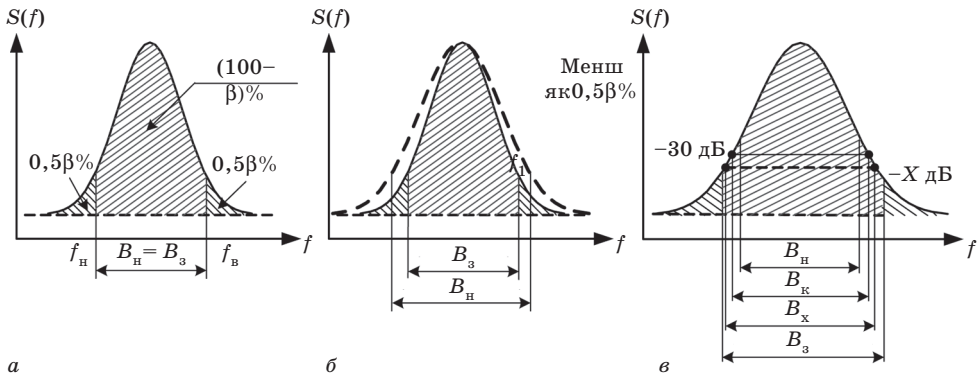


Рис. 9.10. Типи випромінювань

Згідно з Рекомендацією ІТУ-Р SM.328 ширину займаної смуги частот знаходять, обчислюючи відношення всієї (загальної) потужності радіовипромінювання до потужності за межами смуги з граничними частотами f_1 і f_2 , різниця яких і визначає ширину займаної смуги [66]. Для відшукування значень частот f_1 і f_2 потрібно розв'язати систему рівнянь [9]:

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{\infty} S(f) df &= P, \\ \int_0^{f_1} S(f) df &= P\beta/2, \\ \int_{f_2}^{\infty} S(f) df &= P\beta/2. \end{aligned} \right\} \quad (9.8)$$

За визначенням, наведеним у 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, узятого за 0 дБ» [100]. У разі проведення вимірювання за критерієм X дБ знаходимо значення ширини B_X смуг випромінювання РЕЗ на рівнях X дБ, де X може набувати нормованих значень мінус 30 дБ, мінус 40 дБ, мінус 50 дБ і мінус 60 дБ. Застосування кількох вимірювальних рівнів (мінус 30 дБ, мінус 40 дБ, мінус 50 дБ тощо) дозволяє контролювати форму сигналу і швидкість спадання інтенсивності його позасмугового випромінювання. Якщо вимірювання виконується на рівні $X = -30$ дБ, то вимірюваними параметрами є значення ширини B_K *контрольної смуги частот* випромінювання РЕЗ (див. рис. 9.10, в).

При цьому ШКСЧ 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, узятого за 0 дБ. Рівень мінус 30 дБ було вибрано з огляду на те, що зчитані на цьому рівні значення ширини контрольної смуги частот близькі до відповідних значень ширини необхідної смуги. На практиці *найчастіше значення норми контрольної смуги дорівнює ШНСЧ або на 10–20% більше за цю ширину*. Що ж до відповідності між значеннями ширини контрольної та необхідної смуг частот, то вона виконується лише для випробувальних сигналів, визначених для кожного класу радіовипромінювання, а також за умови встановлення нульового рівня відліку згідно з чинними нормативами.

Зауважимо, що за відомим значенням ШКСЧ для певного класу радіовипромінювання завжди можна, скориставшись відомими стандартними параметрами модуляції, обчислити за формулами значення ШНСЧ, припустимо значення швидкості передавання, а також значення ширини смуги випромінювання на рівні мінус 60 дБ у тому разі, якщо для окремих класів радіовипромінювання і специфічних РЕЗ її вимірювання утруднене. Сукупність таких даних дозволяє з достатньою точністю визначати параметри того чи іншого радіовипромінювання, а отже, розв'язувати завдання з регулювання у сфері користування РЧР, забезпечення ЕМС РЕЗ і ВП тощо.

Нині існують два основні підходи до оцінювання ширини займаної смуги частот радіовипромінювання:

- пряме оцінювання ширини смуги частот безпосереднім її вимірюванням;
- побічне (непряме) оцінювання ширини смуги частот.

Безпосереднє вимірювання ширини займаної смуги частот найчастіше здійснюють за критерієм відношення потужностей (енергетичний критерій) або за критерієм «Х дБ». Із позиції ефективності використання РЧР жодний із них не має істотних переваг перед іншим. Відмінність у вимірах із застосуванням цих методів становить від 5 до 7%, що цілком прийнятно для їх практичного застосування [118].

Зрозуміло, що за реальних умов оцінювання ширини займаної смуги частот радіовипромінювання інтегрування його енергетичного спектра не може проводитися в межах всієї осі частот (від 0 до ∞), а має бути обмежене областю з певними межами f_H і f_B для унеможливлення впливу на результати вимірювання великої кількості сторонніх радіовипромінювань, зокрема радіозавад і шумів. Тому перед виконанням розрахунків необхідно в системі рівнянь (9.8) визначити такі межі області інтегрування, в яких забезпечуються найточніші вимірювання.

Із практичного погляду межі області інтегрування енергетичного спектра випромінювання, що підлягає контролю, має бути вибрано згідно з такими суперечливими умовами:

- для того щоб уникнути заниження результатів оцінювання ширини займаної смуги частот через обмеження області інтегрування, ці межі мають бути достатньо широкими;
- для того щоб уникнути завищення результатів оцінювання ширини займаної смуги частот унаслідок впливу можливих наявних сторонніх випромінювань і шумів, ці межі мають бути обмеженими.

Тому найчастіше використовується ітераційна процедура вибору оптимальних меж інтегрування спектра, яка полягає в поступовому зменшенні області інтегрування доти, доки подальше її зменшення не починає призводити до заниження результатів оцінювання ширини займаної смуги. Ці межі й беруться за оптимальні.

Нині немає строго регламентованих правил або оптимального алгоритму вибору меж інтегрування, але існують рекомендації, згідно з якими можна забезпечити мінімальні похибки вимірювань:

- а) спектральна густина потужності має бути визначена у смузі частот, що в півтора-два рази перевищує очікувану ширину займаної смуги частот;
- б) у смузі частот, у межах якої проводиться інтегрування, не повинні бути сторонні випромінювання;
- в) потрібно виключити інтегрування в межах частот, на яких спектральна густина потужності контрольованого випромінювання стає порівнянною зі спектральною густиною шумів і фону приймача.

Згідно з положеннями ГОСТ 30318 [95] під час штатної роботи РЕЗ значення його ШКСЧ має не перевищувати нормативного більш 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 Х дБ.

Основною вимогою для вибору ширини смуги пропускання вимірювального РПП є необхідність забезпечення всіх можливих заходів, щоб до вибраної смуги пропускання не потрапили частини спектрів сусідніх випромінювань.

Нині не існує однозначного способу встановлення вихідного рівня.

У разі вимірювання ширини смуги частот цифрових модульованих сигналів, які зазвичай мають шумоподібний спектр, у [3] 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 залежно від класу радіовипромінювання наведено також у ГОСТ 30318. У деяких випадках їх можна застосувати й під час проведення технічного радіоконтролю. Зокрема, цим стандартом регламентовано такі варіанти встановлення нульового рівня:

- для радіовипромінювання класів *A1AAN, A1BBN, A2AAN, H2BBN, J2BBN, F1BCN, G1BCN, F3EGN, F1C, F3C, F7BDX, F1D, F1E, F2B, F7E, F7B, F8B, G1B, G1E, G1F, G1W, G2B, G2D, G7D, G7E, G7F, G7W* — за рівнем немодульованої (неманіпульованої) носійної частоти;

- для радіовипромінювання класів *A3C* та *R3C* — за рівнем немодульованої (неманіпульованої) підносійної частоти;

- для радіовипромінювання класів *P0NAN, K1B, Q1B* — за рівнем максимального (пікового) складника спектра сигналу, що контролюється;

- для радіовипромінювання класів *A3EJN, A3EGN, R3EGN, R3EJN, B8EJN, H3EJN, J3EJN, R7BCF, J7BCF, B9WWX, F3EJN, F8EJF, F8WWN, D7W* — за максимальним рівнем обвідної спектра в межах бічної смуги частот, причому рівень носійної частоти або її залишок не враховується.

Для радіовипромінювання класу *A3EGN* ГОСТ 30318 припускає встановлення нульового рівня таким чином, щоб на рівні мінус 10 дБ ширина смуги частот випромінювання становила 4 кГц, що певною мірою спрощує процес проведення вимірювань.

Після встановлення нульового рівня проводять вимірювання ширини контрольної смуги частот і, за потреби, контроль позасмугових випромінювань. У разі 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, в яких похибка вимірювання за логарифмічною шкалою не перевищує 2 дБ.

Вимірювання ширини займаної смуги частот за критерієм X дБ проводять, в основному, двома методами спектрального аналізу [3]:

- 1) послідовного (із використанням одного сканувального вузькосмугового фільтра);

- 2) паралельного (із використанням кількох смугопропускних фільтрів).

Головний недолік методів, які використовують поодинокий фільтр для сканування всієї контрольованої смуги частот, — це невідповідність між високою роздільною здатністю та великими швидкостями сканування.

Метод паралельного аналізу спектра частот базується на поділі контрольованої смуги частот на певну кількість прилеглих одна до одної вузьких

смуг, на кожному з яких передбачено свій смугопропускний фільтр. Такий метод доцільно застосовувати для контролю неперіодичних радіосигналів, але на практиці його реалізація надзвичайно складна.

У Рекомендації ITU-R SM.443 наведено співвідношення між шириною B_{26} смуги частот, виміряної на рівні мінус 26 дБ та шириною B_H необхідної смуги частот для окремих класів радіовипромінювання (табл. 9.4), а також рівні X дБ, на яких виміряні значення B_X ширини смуги частот найближчі до значень ширини займаної смуги частот (табл. 9.5).

Таблиця 9.4

Співвідношення між шириною B_H необхідної смуги частот та шириною B_{26} смуги, виміряної на рівні мінус 26 дБ

Клас радіовипромінювання	Співвідношення між B_{26} і B_H
<i>A1A, A1B, A2A, A2B</i>	$B_{26} = 0,9B_H$
<i>F1B</i>	$B_{26} = B_H$
<i>F3C</i>	$B_{26} = B_H$
<i>F7BDX</i>	$B_{26} = 0,9B_H$

Таблиця 9.5

Рівні, на яких виміряні значення ширини смуги частот найближчі до значень ширини займаної смуги

Клас радіовипромінювання	Рівень X , дБ
<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

Значення ширини контрольної смуги частот для деяких найпоширеніших класів радіовипромінювання наведено в табл. 9.6.

Завищені значення виміряної ширини смуги радіочастот і/або рівнів позасмугових випромінювань можуть бути також викликані:

- інтермодуляційними завадами, що виникають у вимірювальному РПП технічного засобу радіоконтролю;
- ефірними інтермодуляційними та побічними випромінюваннями.

Усі випромінювання РЕЗ за межами необхідної смуги частот відносять до небажаних. Небажані випромінювання класифікуються на *позасмугові* та *побічні*.

Згідно з визначенням, наведеним у Регламенті радіозв'язку, *позасмуговими випромінюваннями* називають «випромінювання на частоті або на частотах, які безпосередньо примикають до необхідної ширини смуги частот і є наслідком процесу модуляції, але не включають у себе побічних випромінювань». У Рекомендації ITU-R SM.328 [101] наведено описи кривих, які обмежують позасмуговий спектр для різних класів радіовипромінювання. Смуги частот, зумовлені позасмуговими й побічними випромінюваннями, можуть перекриватися, тому в останньому виданні Рекомендації ITU-R SM.329 наведено визначення для позасмугової та побічної ділянок випромінювання [102].

Значення ширини контрольної смуги частот для певних класів радіовипромінювання

Призначення радіостанції, радіопередавача	Клас радіовипромінювання	Ширина контрольної смуги частот, кГц
Станції монофонічного радіомовлення (діапазон частот від 65,9 до 74 МГц)	130KF3EGN	149,500
Станції стереофонічного радіомовлення (діапазон частот від 65,9 до 74 МГц і від 100 до 108 МГц)	156KF8EHN 180KF3EHN	179,400 248,400
Станції стереофонічного радіомовлення з пілот-тоном (діапазон частот від 100 до 108 МГц)	220KF3EHN 300KF8EHF	300,000 414,000
Передавачі стільникових мереж зв'язку стандарту D-AMPS	40KOG7W	56,600
Передавачі стільникових мереж зв'язку стандарту GSM-900	200KG7W 200KG7AB 200KF7CD 271KG7W	280,000 280,000 240,000 379,400
Передавачі стільникових мереж зв'язку стандарту DCS-1800	271 KG7W 200KG7D 200KG7ED	379,400 280,000 280,000
Передавачі наземних базових станцій мережі телефонного радіозв'язку з фіксованим абонентським радіодоступом стандарту IS-95 (CDMA)	1M25G1D 1M23G4D	1750,000 1722,000
Передавачі наземних радіостанцій мережі пошукового (пейджингового) радіозв'язку загального користування протоколів POCSAG, FLEX, ERMES	16K0F1D 16K0F9D	19,680 18,880
Передавачі наземних радіостанцій мережі транкінгового радіозв'язку загального (відомчого) користування стандартів Алтай, SmartTrunk, Smart Net, MPT 1327	16K0G3E 16K0F3E 25K0J7W	22,400 16,000 28,750
Передавачі наземних радіостанцій мережі передавання даних	8K50F1D 12K00F1DAN 12K50F1DAN	10,455 14,760 15,375
Передавачі наземних радіостанцій мережі передавання даних із використанням широкосмугового доступу	1M00G1D 1M08G1D 1M0F1D 2M0G1DF 5M12G1D	1400,000 1512,000 1230,000 2800,000 7168,000

Обмеження для побічних випромінювань, а також настанови щодо визначення межі між ділянками позасмугових і побічних випромінювань зазначено Рекомендаціями ITU-R SM.329 і SM.1539 [103]. Відповідно до положень Регламенту радіозв'язку ділянку побічних випромінювань зазвичай утворюють частоти, віддалені від центральної частоти випромінювання на 250% ширини необхідної смуги випромінювання і більше.

За нижній рівень потужності позасмугового випромінювання беруть потужність, виміряну на рівні мінус 60 дБ.

Побічні випромінювання, що супроводжують передаване повідомлення, є одним із найсуттєвіших чинників, що визначають ЕМС, тому їхні рівні нормуються відповідними нормативними документами та спеціальними рекомендаціями. За нормоване значення потужності побічного випромінювання

береться середня потужність, яка передається від передавача в антенно-фідерний тракт на частоті побічного випромінювання, виражена в абсолютних і відносних одиницях (відносно середньої потужності передавача в межах необхідної смуги частот).

В Україні норми на рівні побічних випромінювань РЕЗ цивільного призначення регламентуються Нормами 18 [104] і Регламентом радіозв'язку у смузі частот від 9 кГц до 17,7 ГГц (табл. 9.7), а також нормативними документами (стандартами, технічними умовами тощо) на певні РЕЗ.

Таблиця 9.7

Граничні нормовані значення рівнів побічних випромінювань

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

Окрім цього, вимоги до граничних рівнів побічних випромінювань для смуги частот від 9 кГц до 300 ГГц наведено в Рекомендації ITU-R SM.329 та в Рекомендації СЕРТ/ЕРС/РЕС 74-01 [105].

Вимірювання та контроль на відповідність РЕЗ цим нормам мають здійснюватися, як правило, безпосередньо у вихідних колах передавача під час його роботи в режимі випромінювання максимальної потужності носійної частоти без модуляції [104; 106].

Через відсутність нормативних документів, що регламентують методи вимірювання рівнів побічних випромінювань РЕЗ під час проведення моніторингу спектра і радіоконтролю, практично єдиними настановами щодо їх дистанційного вимірювання можуть бути лише Рекомендація ITU-R SM.329 та Рекомендація СЕРТ/ЕРС/РЕС 74-01.

Контрольні (еталонні) смуги частот, в яких мають вимірюватися рівні побічних випромінювань, залежно від діапазонів частот, в яких контролюються ці випромінювання, зазначено в Нормах 18 та Рекомендації ITU-R SM.329 (табл. 9.8), в якій наведено граничні значення побічних випромінювань для РЕЗ і ВП у смузі частот від 9 кГц до 300 ГГц.

Таблиця 9.8

Контрольні (еталонні) смуги частот, в яких мають вимірюватися рівні побічних випромінювань

Діапазон частот контролю	Значення контрольної смуги частот Δf	
	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 до 300 МГц	10 кГц	100 кГц
Від 300 МГц до 1 ГГц	100 кГц	100 кГц
Від 1 до 4 ГГц	100 кГц	1 МГц
Від 4 до 40 ГГц	1 МГц	1 МГц

Визначення рівнів позасмугових випромінювань в основному ґрунтується на методі вимірювання ширини займаної смуги частот за критерієм X дБ і проводиться вимірюванням ширини смуги частот контрольованого сигналу на рівнях мінус 40, мінус 50 та мінус 60 дБ із наступним порівнянням здобутих значень із нормативними (ГОСТ 30318, Норми 19 тощо) чи з обмежувальними кривими (масками) на позасмугові випромінювання, наведеними для певних класів радіовипромінювання в нормативних документах або в Рекомендаціях ІТУ-R (в основному — SM.1541-1 і SM.328).

Типовий приклад проведення радіоконтролю позасмугових випромінювань радіомовного передавача з класом радіовипромінювання *A3EGN* наведено в ГОСТ 30318. Для цього класу радіовипромінювання нормативні розрахункові значення ширини смуги частот такі:

$$B_{-30} = 1,2 B_{\text{н}}; B_{-40} = 1,35 B_{\text{н}}; B_{-45} = 1,4 B_{\text{н}}; B_{-50} = 1,9 B_{\text{н}}; B_{-60} = 3,3 B_{\text{н}},$$

де $B_{\text{н}}$ — необхідна смуга частот, визначена за формулою $B_{\text{н}} = 2M$ (M — максимальне значення модулюючої звукової частоти).

Методика вимірювання рівнів побічних випромінювань полягає ось у чому:

а) установлюють смугу пропускання вимірювального РПП або аналізатора спектра згідно з контрольованим діапазоном частот;

б) перестроюючи вимірювальний РПП у контрольованій смузі частот, фіксують частоти побічних випромінювань контрольованого РЕЗ;

в) установлюють потрібну поляризацію вимірювальної антени і вимірюють рівень побічного випромінювання на кожній із зафіксованих частот;

д) розраховують значення відносних рівнів побічних випромінювань для кожної з частот, на якій проводилися вимірювання, за формулами, наведеними в [104].

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, радіопередавачеві. Щоб бути впевненим у тому, що побічне випромінювання, рівень якого потрібно оцінити (виміряти), належить саме контрольованому РЕЗ, а не сторонньому ДРВ, необхідно його попередньо розпізнати (ідентифікувати).

9.5.2. Вимірювання частоти радіовипромінювання

Вимірювання частоти радіовипромінювання РЕЗ виконується з метою визначення її стабільності та рівня відхилення від нормованого (або номінального) значення для перевірки відповідності виміряного значення ліцензійним вимогам і/або вимогам дозвільних документів (дозволу на експлуатацію) з урахуванням припустимого відхилення. Зазначена перевірка базується на одній із основних вимог міжнародного Регламенту радіо-зв'язку щодо припустимого відхилення частоти випромінювання передавачів РЕЗ усіх призначень: *«Відхилення середньої частоти смуги частот випромінювання від присвоєної частоти (або характерної частоти від відносної частоти) не повинні перевищувати нормованого значення»* [12].

В Україні контроль за частотою випромінювання РЕЗ проводиться під час моніторингу радіочастотного спектра та технічного радіоконтролю. У загальному випадку відхилення робочої частоти передавачів РЕЗ усіх категорій і

призначень не повинні перевищувати значень, визначених у таких нормативних документах:

1) у смузі частот від 9 кГц до 40 ГГц — у Регламенті радіозв'язку та ГОСТ 30338 [86];

2) у смузі від 9 кГц до 275 ГГц — у Рекомендації ITU-R SM.1045 [87];

3) у робочих смугах частот окремих РЕЗ та радіотехнологій — у технічних умовах та стандартах на окремі види РЕЗ і радіотехнології.

Оскільки вимоги до деяких параметрів РЕЗ нових радіотехнологій досить специфічні і потребують значень припустимих відхилень частоти, які відрізняються від визначених у згаданих щойно нормативних документах, то вони можуть регламентуватися стандартами на ці радіотехнології. Наприклад, вимоги до нестабільності частоти передавачів широкосмугового радіодоступу наведено в [88–93] і табл. 9.9.

Таблиця 9.9

Припустима нестабільність частоти передавачів РЕЗ широкосмугового радіодоступу

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

У стандартах на окремі види РЕЗ можуть наводитися деякі додаткові вимоги до нестабільності робочої частоти. Наприклад, базовий стандарт ГОСТ 13924 для передавачів діапазонів НЧ, СЧ, ВЧ та ДВЧ регламентує також припустиме відхилення робочої частоти передавача від номінального значення протягом місяця [94].

У технічних умовах вимоги стосовно припустимих відхилень робочої частоти передавачів РЕЗ можуть визначатися додатково в разі їх відсутності в чинних нормативних документах, причому вони можуть відрізнятися від установлених в нормативних документах (у випадках, коли потрібно конкретизувати, доповнити або підвищити вимоги чинних нормативних документів на продукцію).

Відповідно до ГОСТ 30338 контроль за відхиленням частоти передавачів від номінального значення потрібно проводити з урахуванням впливу на РЕЗ усіх дестабілізуючих чинників, при цьому вимірювання частоти необхідно виконати не менш як 10 разів підряд. За результатами вимірювань визна-

чається середнє арифметичне значення Δf різниці між виміряними f_i та присвоєним (номінальним) $f_{\text{н}}$ значеннями частоти за формулою

$$\Delta f = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N |f_i - f_{\text{ном}}| \right], N = 10. \quad (9.9)$$

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

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{н}}} \leq N, \quad (9.10)$$

або

$$\Delta f \leq N_1, \quad (9.11)$$

де N_1 — абсолютне значення відхилення частоти, виражене в Гц; N — відносне відхилення частоти, виражене в мільйонних частках ($\pm N \cdot 10^{-6}$).

Відхилення частоти вимірюють у герцах зазвичай для радіопередавачів, що працюють на частотах до 1 ГГц.

Вимірювання (інструментальне оцінювання) частоти випромінювання передавачів виконують під час радіоконтролю випромінювань РЕЗ. Вимірювання робочої частоти передавачів РЕЗ також здійснюється під час проведення випробувань РЕЗ, введення передавачів в експлуатацію та інспекційних перевірок РЕЗ.

У першому випадку інструментальне оцінювання проводиться дистанційно, «за полем», в реальних умовах експлуатації РЕЗ із застосуванням автоматизованих засобів радіомоніторингу або технічних засобів радіоконтролю.

У другому випадку вимірювання проводять вручну безпосередньо на антенному виході передавача з урахуванням впливу на РЕЗ усіх дестабілізуючих чинників за методиками, визначеними технічними умовами на конкретні типи РЕЗ. Відповідно до ГОСТ 30338, вимірювання частоти проводять, як правило, у режимі без модуляції носійної частоти і за умови, що передавач настроєний на віддачу номінальної потужності в навантаження (антену чи її еквівалент) [86]. Незважаючи на те, що відомо багато методів вимірювання частоти та її припустимого відхилення, найбільшого поширення набули методи, які ґрунтуються на використанні електроннолічильного частотоміра або аналізатора спектра.

Відповідність радіопередавача, частота якого контролювалася, вимозі щодо припустимого відхилення його робочої частоти визначають за формулами (9.8)–(9.10) після статистичного оцінювання низки (не менш як десяти) вимірів, похибка яких має бути не гірш як 0,1 припустимого відхилення частоти. При цьому для всіх радіопередавачів, частота яких перевіряється, відношення значення похибки вимірювання, яка складається з похибки методу вимірювання та похибки засобів вимірювальної техніки, до значення припустимого відхилення частоти має бути не більш ніж 1 : 3.

Найчастіше вимірювання (інструментальне оцінювання) частоти радіовипромінювання РЕЗ здійснюється за результатами вимірювання значення середньої або характерної частоти модульованого радіовипромінювання у штатному режимі роботи передавача із застосуванням стаціонарних СРМ, мобільних комплексів радіомоніторингу або портативного обладнання, які перебувають на значній відстані від РЕЗ (тобто дистанційно), тому для моніторингу РЧС і технічного радіоконтролю методи вимірювання частоти, наведені в ГОСТ 30338, не придатні.

Вимірювання частоти, що виконуються із застосуванням стаціонарних і мобільних СРМ, нині проводяться дистанційними автоматизованими методами. Основними складовими частинами автоматизованого вимірювального засобу (станції) радіоконтролю є вимірювальний РПП (у більшості СРМ іноземного виробництва — цифровий) із синтезатором частоти, частотомір та процесор, причому функції частотоміра можуть здійснюватися програмно ПЕОМ, до складу якої входить зазначений процесор. Процесор керує роботою РПП та самої ПЕОМ і здійснює математичну обробку результатів вимірювання. Отримавши вихідні дані параметрів радіоконтролю, процесор за допомогою синтезатора частоти налаштує РПП на контрольовану частоту, перемикаючи його вхідні фільтри і встановлюючи певне значення смуги пропускання. Якщо синтезатор керується стандартною частотою, то центри смуг пропускання ВЧ трактів і ПЧ приймача визначаються досить точно. Ураховуючи те, що в усіх вимірювальних РПП частота його вхідного сигналу перетворюється в певне значення ПЧ, то за виміряним значенням ПЧ завжди можна визначити значення вхідної частоти. Усі подальші операції щодо проведення вимірювання частоти й визначення відхилень від номінального значення проводяться програмно ПЕОМ. При цьому процесор послідовно досить швидко налаштує РПП на заздалегідь запрограмовані значення частот для їх приймання. У разі виявлення радіосигналу на якомусь каналі РПП фіксує свою подальшу роботу на певній смузі частот і під управлінням процесора проводить вимірювання частоти цього радіосигналу.

У разі виконання планового завдання виміряні значення частоти записуються в постійну пам'ять ПЕОМ разом із часом та датою проведення радіоконтролю. Оскільки практично всі станції радіомоніторингу (радіоконтролю) керуються з автоматизованих робочих місць (АРМ), то це дозволяє досить швидко й просто контролювати різні ділянки частотного спектра налаштуванням РПП СРМ на будь-яку частоту в межах частотного діапазону (смуги частот), що приймається.

Вимірювання частоти на РКП можуть також виконувати оператори 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.

Здебільшого вимірювання частоти проводяться стаціонарними або мобільними комплексами (станціями) радіомоніторингу з використанням вимірювальних РПП і генераторів (стандартів) частоти.

Для отримання незаперечних вимірів РПП повинні мати такі характеристики [3]:

- високу вхідну чутливість;
- задовільне послаблення частоти дзеркального каналу;
- низькі рівні крос-модуляції та інтормодуляції;
- низький рівень фазового шуму внутрішніх генераторів;
- відповідні вхідні фільтри (попередній селектор) для захисту смуги частот, в якій проводяться вимірювання, від впливу сторонніх або завадних сигналів.

Окрім того, амплітудно-частотна характеристика кожного РПП має бути калібрована.

До характеристик і параметрів зовнішніх і внутрішніх генераторів сигналів для вимірювання частоти висуваються такі вимоги:

- частота має синтезуватися зі стандарту (еталона) частоти;
- внутрішній стандарт частоти повинен мати відносну похибку не гірш ніж 10^{-7} як для основної частоти, так і для всієї можливої низки частот;
- дискретність частоти має бути не гірш ніж 1 Гц;
- має бути передбачено вхід для зовнішньої частоти 1; 5 або 10 МГц;
- має бути передбачено можливість роботи внутрішнього стандарту частоти в режимі очікування;
- діапазон частот має бути більший за смугу частот, в якій проводяться вимірювання;
- побічні випромінювання на гармоніках мають бути послаблені не менш ніж на 30 дБ;
- побічні негармонічні випромінювання мають бути послаблені не менш ніж на 80 дБ;
- рівень фазового шуму в разі відстроювання від носійної частоти на 10 кГц має бути не більш як мінус 100 дБс/Гц;
- рівень вихідної напруги має регулюватися в діапазоні від 1 мВ до 1 В (для вихідного опору 50 Ом).

Окрім зазначених раніше технічних вимог до технічних засобів радіоконтролю висуваються вимоги щодо наявності сертифіката або метрологічного свідчення про вимірювання частоти.

Найширшого застосування в засобах радіомоніторингу (радіоконтролю) набули нині такі методи вимірювання частоти [3]:

- 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 наведено в табл. 9.10.

Таблиця 9.10

Застосовність методів вимірювання частоти для певних видів радіозв'язку [3]

Вид радіозв'язку	Метод				
	ЛЧ	ЧД	АРЧС	ВМЧ	ШПФ
Неперервна носійна (NON)	×	×	×	×	×
Радіомовлення і радіотелефонія	×	×	×	×	×
Аналогове телебачення	×	×	×	×	×
Цифрове радіомовлення			×		×
Телебачення MMDS	×		×		×
Системи широкопasmового безпроводового радіодоступу			×	×	×
Системи множинного доступу			×	×	×
Системи стільникового зв'язку			×	×	×
Радіорелейний зв'язок	×		×	×	×

Незалежно від методу в будь-якому разі, вимірювання частоти мають проводитися за оптимальних умов приймання сигналу ДРВ для того, щоб виключити вплив радіозавад і/або завмирань сигналу на виміри. Окрім

цього, бажано, щоб оператори радіоконтролю не знали точних значень частот, що вимірюються, аби запобігти мимовільному коригуванню вимірів. Універсальними є останні три методи.

Метод аналізу радіочастотного спектра

У разі застосування деяких видів цифрової модуляції, на відміну, наприклад, від більшості видів аналогової модуляції, центральна частота у спектрі сигналу РЕЗ виражена не чітко, а через це однозначно визначити її важко або й неможливо (див. рис. 9.7, б, рис. 9.9).

У таких випадках її можна розрахувати за результатами вимірювання значень верхньої та нижньої меж спектра радіосигналу за методом відношення потужностей або обчислити на певному заданому рівні відносно максимуму обвідної сигналу за формулою (рис. 9.11)

$$f_{cp} = f_0 = \frac{f_H + f_B}{2}, \quad (10.12)$$

де f_0 (f_{cp}) — центральна (середня) частота спектра радіосигналу; f_H і f_B — відповідно нижнє і верхнє значення частот спектра сигналу, виміряне на певному заданому рівні відносно максимального рівня обвідної.

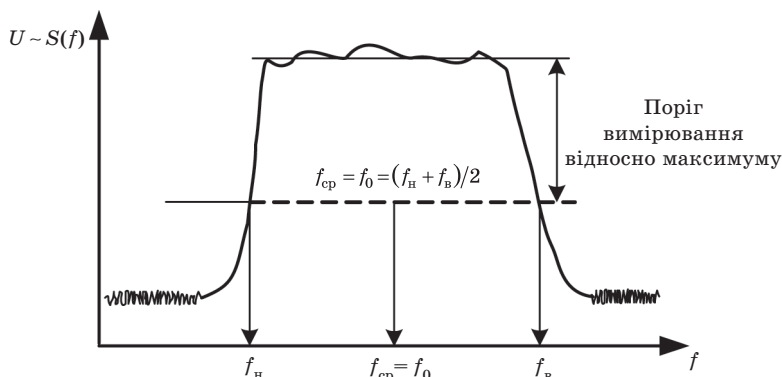


Рис. 9.11. Визначення ширини смуги частот широкосмугового сигналу

Вимірювання ШЗСЧ у даному разі можна виконати відомими методами, наприклад за критерієм X дБ за допомогою аналізатора спектра або за критерієм відношення потужностей із використанням методів ШПФ.

За допомогою цього методу можна виміряти частоту імпульсного, наприклад, радіолокаційного, радіосигналу (рис. 9.12).

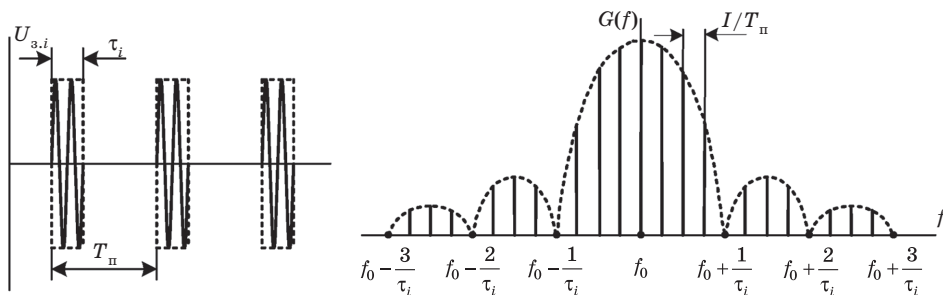


Рис. 9.12. Періодична послідовність імпульсів і спектр радіолокаційного сигналу

Як правило, зондувальний сигнал радіолокатора являє собою періодичну послідовність радіоімпульсів, які надходять із періодом повторення T_{Π} . Спектр такого сигналу має дискретний характер. Тривалість імпульсу τ_i можна визначити за значенням відстані між першими мінімумами амплітуд на зображенні спектра. За достатньої розрізнявальної здатності вимірювального засобу також можна виміряти частоту повторення імпульсів T_{Π} як значення, що відповідає відстані між дискретними складниками спектра сигналу. При цьому значення носійної частоти відповідатиме частоті, на якій спостерігається максимальне значення рівня амплітуди сигналу (у разі застосування осцилографа) або максимальне значення обвідної спектра сигналу (у разі застосування аналізатора спектра). Точність вимірювання за цим методом суттєво залежить від розрізнявальної здатності за частотою вимірювального засобу.

Метод вимірювання миттєвої частоти

Для гармонічного частотно-модульованого коливання миттєва циклічна (колова) частота $\omega(t)$ визначається так:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \Psi), \quad (9.13)$$

де $\Delta\omega = 2\pi f$ — амплітуда відхилення носійної частоти від номінального значення або девіація частоти; Ψ — початкова фаза гармонічного коливання частотою Ω .

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

$$\Theta = \int \omega(t) dt = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t + \Psi) + \varphi_0, \quad (9.14)$$

де $\Delta\omega/\Omega = m$ — індекс частотної модуляції; φ_0 — початкова фаза коливання частотою ω_0 .

За формулою (9.10) миттєва частота сигналу відповідає швидкості зміни (похідній) його фази. У разі малих інтервалів спостереження для миттєвої частоти справджується така рівність:

$$f(t) = \frac{\Theta(t) - \Theta(t - \Delta t)}{2\pi\Delta t}, \quad (9.15)$$

де $\Theta(t)$ — повна фаза сигналу; Δt — часовий інтервал, як правило, між сусідніми відліками сигналу.

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

$$\begin{cases} s(t_1) = A \cos(2\pi f t_1 + \varphi_0), \\ s(t_2) = A \cos[2\pi f(t_1 + \Delta t) + \varphi_0], \\ s(t_3) = A \cos[2\pi f(t_1 + 2\Delta t) + \varphi_0], \end{cases} \quad (9.16)$$

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

Миттєва частота в даному разі подається співвідношенням

$$f(t_2) = \frac{1}{2\pi\Delta t} \arccos \left[\frac{s(t_1) + s(t_3)}{2s(t_2)} \right]. \quad (9.17)$$

Це співвідношення справдується лише для синусоїдного сигналу. У загальному випадку за наявності шумів та модуляції потрібно визначити миттєву частоту комплексного сигналу

$$s^*(t) = s(t) + j\hat{s}(t), \quad (9.18)$$

де $s(t)$ — вихідний сигнал; j — уявна одиниця ($j = \sqrt{-1}$); $\hat{s}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(t)}{t-x} dx$ — вихідний сигнал, перетворений за Гільбертом.

Миттєва частота $f(t_2)$ у цьому випадку виражається як

$$f(t_2) = \frac{\hat{s}(t_2)s(t_1) - s(t_2)\hat{s}(t_1)}{2\pi\Delta t [s^2(t_2) + \hat{s}^2(t_2)]}. \quad (9.19)$$

Для вірогідного оцінювання частоти здебільшого необхідно усереднювати результати вимірювання.

Під час вибору тривалості вибірки потрібно враховувати таке [3]:

1) для високоякісного оцінювання миттєвої центральної частоти контрольного радіовипромінювання мають використовуватися короткі вибірки, але тривалість вибірки має бути достатньою, щоб звести до мінімуму можливе зміщення частоти. Тому для проведення повсякденних швидких вимірювань звичайних сигналів рекомендоване значення тривалості вибірки становить 200 мс, а для повсякденних вимірювань звичайних сигналів із середньою швидкістю (окрім сигналів системи множинного доступу) — 1 с;

2) невеликі значення вибірки мають застосовуватися і за потреби контролю на СРМ великої кількості радіопередавачів (наприклад, кількох тисяч каналів у смугах рухомого радіозв'язку за допомогою поточного систематичного сканування смуг частот);

3) невеликі значення вибірки мають застосовуватися також і для уникнення усереднення зміщення центральної частоти;

4) у разі контролю частоти сигналів передавачів, які використовують метод множинного доступу з частотним розділенням каналів (FDMA), розмір вибірки має відповідати тривалості кожного елементарного пакета;

5) невеликі значення вибірки доцільно використовувати й під час вимірювання широкосмугових цифрових сигналів, якщо небажано залучати великий обсяг пам'яті та значну обчислювальну потужність ПЕОМ, а достатньо тільки розглянути статистичні характеристики таких сигналів;

6) великі значення вибірки мають застосовуватися 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 вірогідністю (повторюваністю). Так, досить легко можна досягти точності вимірювання немодульованої носійної частоти порядку $\pm 10^{-10}$, тобто в разі застосування сучасних СРМ можна досягти точності близько 1 Гц.

Враховуючи, що ширші смуги частот вимагають дорожчого обладнання, залежно від мети вимірювання у смузі частот від 9 кГц до 3 ГГц рекомендується брати такі значення миттєвої ширини смуги [3]:

- близько ± 200 кГц для СРМ низьких категорій;
- близько ± 2 МГц для СРМ вищих категорій.

У разі проведення технічного радіоконтролю на частотах понад 3 ГГц або сигналів цифрового телевізійного мовлення бажано брати більші значення миттєвої ширини смуги частот, наприклад від ± 8 до ± 10 МГц.

Цей метод вимірювання частоти не можна застосовувати до сигналів з односмужовою модуляцією (окрім частинного випадку модулювання гармонічним сигналом) та сигналів з ортогональним частотним розділенням каналів із кодуванням (COFDM) [7]. У цьому разі оцінювання центральної частоти виконують методом, що ґрунтується на ШПФ.

Метод швидкого перетворення Фур'є

Використання методу швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) ґрунтується на положеннях теореми Котельникова–Шеннона [107; 108], згідно з якою будь-який періодичний аналоговий сигнал $U(t)$ можна адекватно подати у дискретному вигляді як у часовій, так і в частотній області, застосувавши так зване дискретне пряме перетворення Фур'є (ДПФ) $F\{U(t)\}$. При цьому обидва подання є еквівалентними. Таким чином, ШПФ реалізує перетворення спектральної залежності цифрової амплітуди від часу у спектральну залежність амплітуди від частоти.

Частота дискретизації (частота вибірок) f_s має бути принаймні удвічі більшою за ширину смуги $B_{\text{вх}}$:

$$f_s \geq 2 B_{\text{вх}}, \text{ або } f_s = 1/T_s, \quad (9.20)$$

де T_s — період вибірки, с.

Мінімальна частота вибірки f_s визначається максимальною частотою f_{max} :

$$f_s \geq 2f_{\text{max}}. \quad (9.21)$$

При цьому процедура цифрового оброблення сигналу передбачає:

● обмеження діапазону частот, що аналізуються, застосуванням смужового фільтра з шириною смуги $B_{\text{вх}} = f_{\text{max}} - f_{\text{min}}$ (f_{max} і f_{min} — відповідно верхня та нижня частота смуги частот, що аналізуються);

- часове обмеження сигналів застосуванням «віконної» вибірки;
- дискретизацію (взяття вибірок) сигналу з часом;
- квантування сигналу за рівнем;
- здійснення цифрового перетворення (перетворення Фур'є).

У разі, якщо довжина N ДПФ кратна числу 2 ($N = 2^n$), то відповідне подання спектра сигналу називається *швидким перетворенням Фур'є (ШПФ)*. Основною перевагою ШПФ порівняно з іншими видами перетворень є підвищення продуктивності (зменшення кількості) розрахунків за рахунок попереднього обчислення коефіцієнтів перетворення, що значно спрощує подальше визначення квадратурних складників спектра. Наприклад, для $N = 8$ набір таких коефіцієнтів обмежується значеннями $0, \pm 1$ і $\pm 0,707$. При $N = 4096$ необхідно зберігати в пам'яті ПЕОМ 1095 заздалегідь обчислених значень коефіцієнтів.

Окрім скорочення 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).

Приклад системи вимірювання частоти на основі ШПФ наведено на рис. 9.13 [3].

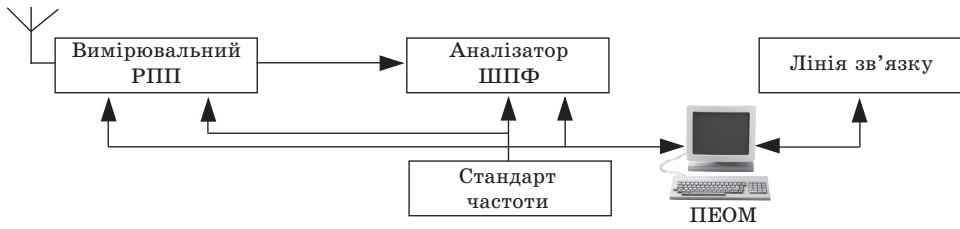


Рис. 9.13. Структурна схема системи вимірювання частоти методом ШПФ

Вимірювання частоти радіосигналу аналізатором ШПФ здебільшого виконується на виході ПЧ вимірювального РПП, який настраюється разом із аналізатором за допомогою стандарту (синтезатора) частоти і ПЧ якого має перебувати в робочій смузі частот аналізатора ШПФ. Але останнім часом у сучасних вимірювальних приладах (наприклад, в аналізаторах спектра реального часу) дедалі частіше використовується процедура виконання ШПФ на радіочастоті, що забезпечує спостереження спектра радіовипромінювання практично миттєво — справді «у реальному часі».

У разі застосування зовнішнього стандарту частоти досяжна похибка вимірювання частоти за цим методом може змінюватися від $\pm 10^{-11}$ до $\pm 10^{-8}$ [7; 9].

Система вимірювання частоти методом ШПФ має в загальному випадку такі переваги [3]:

- а) дуже високі рівні точності та роздільна здатність за частотою;
- б) можливість вимірювання сигналів у каналі загального користування;
- в) підвищена швидкість вимірювання частоти сигналів для вузької смуги частот і роздільної здатності;
- г) висока гнучкість, що дозволяє пристосовувати систему до роботи в різних смугах частот;
- д) зберігання даних щодо спектрів сигналів у цифровій формі;
- е) можливість передавання даних телефонними лініями з метою подальшого їх оцінювання і/або оброблення.

Метод лічильника частоти

Цей метод найбільше підходить для вимірювання частоти сигналів РЕЗ, центральна частота у спектрі яких виражена чітко і її легко визначити (див. рис. 10.7, а). 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 вимірювання.

Апаратно-програмний спосіб вимірювання частоти з використанням лічильника полягає в підрахунку кількості імпульсів або переходів амплітуди напруги сигналу через нульовий рівень, які формуються із сигналу ПЧ вимірювального РПП за певний інтервал часу, наприклад за 1 с. Інтервал, що визначає час проведення вимірювання, формується високостабільними імпульсами генератора опорної частоти.

Перевагою методу є висока точність вимірювання частоти, а недоліком те, що ширина спектра радіосигналу обмежується максимальною шириною смуги вимірювального РПП.

Відхилення частоти радіосигналу від номінального значення можна визначити безпосередньо за допомогою лічильника іншим методом. Радіо-

частота, що її приймає РПП і відхилення якої необхідно виміряти, перетворюється за допомогою синтезатора частоти в ПЧ, наприклад 10 МГц. Оскільки синтезатор керується кварцовим генератором високостабільної опорної частоти, то абсолютне значення відхилення частоти сигналу на рівні ПЧ відповідає відхиленню на рівні радіочастоти. Під час проведення вимірювання частоти радіосигналу, лічильник реєструє в режимі зворотного відліку кількість імпульсів, які з'явилися протягом певного інтервалу.

Цей метод дозволяє досягти високої точності і застосовується для вимірювання частоти АМ та ЧМ сигналів. До недоліку методу відносять деякі обмеження, що в разі вимірювання частоти ЧМ сигналів накладаються на певні несприятливі комбінації з високою девіацією частоти, низькою частотою модуляції та малим інтервалом вимірювання [3].

Переваги того чи іншого методу визначаються також точністю вимірювання і впливом похибок на відповідні результати.

За природою виникнення розрізняють такі похибки [3]:

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

Максимальна похибка визначається сумою абсолютних значень цих складників:

$$\Delta f_m/f = \pm (|\Delta f_m/f| + |\Delta f_{mod}/f| + |\Delta f_R/f| + |\Delta f_A/f| + |\Delta f_T/f|). \quad (9.22)$$

На точність вимірювання частоти під час проведення радіоконтролю суттєво впливають похибки складових засобу радіоконтролю, насамперед опорного генератора, який безпосередньо визначає точність формування еталонного інтервалу часу вимірювання.

За потреби отримання точніших вимірів частоти має бути забезпечено можливість підімкнення до вимірювального обладнання зовнішнього стандарту частоти, роль якого може відігравати кварцовий генератор з термостатом, сигнал станції еталонної частоти, рубідієвий генератор або сигнал GPS.

Точність вимірювання частоти на станціях, використовуваних для міжнародного радіомоніторингу, регламентовано Рекомендацією ІТУ-R SM.377 і наведено в табл. 9.11 [109].

Таблиця 9.11

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 похибка становить менш як ± 1 Гц, то береться ± 1 Гц)
Від 9 кГц до 4 МГц (для радіомовних станцій)	± 1 Гц
Від 4 до 29,7 МГц	± 1 Гц
Від 29,7 МГц до 2,45 ГГц (за винятком телевізійних станцій)	$\pm 0,5 \cdot 10^{-6}$
Від 47 до 960 МГц (для телевізійних станцій)	± 50 Гц
Від 2,45 до 10,5 ГГц	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
Від 10,5 до 40 ГГц	$\pm 10 \cdot 10^{-6}$

9.5.3. Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності

Нині в Україні досі немає доволі специфічних нормативно-правових документів, що безпосередньо стосуються вимірювань напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності. Практично єдиними джерелами інформації у цій сфері, які більш-менш можна віднести до нормативних, є Рекомендації та звіти ІТУ-R.

Поради та настанови щодо вимірювання напруженості електромагнітного поля, а також значення максимальних похибок у діапазонах частот до 30 і понад 30 МГц для станцій міжнародного радіоконтролю, яких потрібно намагатися досягти під час проведення вимірювання, наведено в Рекомендації ІТУ-R SM.378 [110].

Для оцінювання впливу рельєфу місцевості на виміри рекомендується використовувати наближені формули, наведені у звітах Міжнародного консультативного комітету з радіо (МККР, із 1992 року МСЕ-Р) [111].

Якщо потрібно оцінювати просторовий (просторову залежність) або часовий розподіл напруженості поля електромагнітного випромінювання, доводиться користуватися Рекомендаціями ІТУ-R P.1546 і P.845 [112; 113].

Рекомендації стосовно прогнозування та моделювання поширення радіохвиль наведено у звіті ІТУ-R BS.516 [114] і Рекомендації ІТУ-R P.529 [116].

Настанови щодо вимірювання рівнів радіошумів, зокрема індустриальних, наведено в Рекомендації ІТУ-R P.372 [115].

Радіоконтроль напруженості поля електромагнітного випромінювання, як правило, здійснюється з метою [3]:

- визначення рівня електромагнітного поля сигналу та ефективності роботи ДРВ (наприклад, радіопередавача певної радіослужби в штатному режимі роботи);
- визначення ступеня впливу завад від певного навмисного ДРВ із метою розв'язання питань ЕМС;
- визначення рівнів електромагнітного поля сигналів та впливу радіозавад, викликаних ненавмисними випромінюваннями, джерелом яких може бути обладнання, що випромінює електромагнітну енергію, і оцінювання ефективності заходів щодо подання цих завад;
- вивчення явищ поширення радіохвиль із метою розроблення та перевірки моделей поширення;
- оцінювання рівнів небезпечних неіонізуючих випромінювань із метою додержання санітарних норм;
- забезпечення виконання положень Регламенту радіозв'язку.

Нині найпоширенішим є проведення радіоконтролю напруженості поля електромагнітного випромінювання за допомогою [3]:

- вимірювань, які проводяться переносними або рухомими засобами радіоконтролю для отримання відносно миттєвих або короткотермінових даних в одному чи кількох 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 подальшого їх аналізу.

Одна з основних цілей вимірювання напруженості поля полягає у визначенні зон упевненого приймання сигналів ДРВ або зони обслуговування та у перевірці розрахованих зон радіопокриття (радіодосягнення) РЕЗ. Тому експериментальні вимірювання напруженості поля за допомогою стаціонарних або рухомих комплексів радіомоніторингу залишаються необхідним етапом процесу планування та експлуатації радіомереж рухомого зв'язку й 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 перебуває.

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

$$K_e = E/U. \quad (9.23)$$

Часто замість значення ефективності антени вказують її *коефіцієнт підсилення* G_i відносно ізотропної антени або *коефіцієнт підсилення* G_d відносно півхвильового вібратора.

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

$$K_a = \frac{f}{30,81\sqrt{G_i}}, \quad (9.24)$$

$$K_a = \frac{f}{39,47\sqrt{G_d}}, \quad (9.25)$$

або, у логарифмічній формі,

$$k_e = 20\lg K_e, \quad (9.26)$$

і, відповідно,

$$k_e = -29,77(\text{дБ}) - g_i + 20\lg f, \quad (9.27)$$

$$k_e = -31,93(\text{дБ}) - g_d + 20\lg f, \quad (9.28)$$

де f — частота, МГц; $g_i = 10\lg G_i$ та $g_d = 10\lg G_d$.

Практично реакцію приймальної антени на певний рівень напруженості E поля електромагнітного випромінювання можна виявити, наприклад, за допомогою з'єданого з нею фідером РПП, а саме — через відповідний рівень напруги U на його вході. Таким чином, рівень напруженості e поля (у логарифмічній формі) можна подати виразом [3; 79]

$$e = u + k_e + k_3, \quad (9.29)$$

де $u = 20 \lg U$ — рівень напруги на вході РПП, дБмкВ; k_e — ефективність антени, дБ/м; k_3 — загасання, яке вносить фідер, дБ.

На практиці напруженість поля характеризують логарифмічною одиницею — дБмкВ/м.

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

Одиницею густини потоку потужності є $\text{Вт}/\text{м}^2$, хоча на практиці частіше застосовують логарифмічну одиницю — $\text{дБпВт}/\text{м}^2$, тобто оцінюють у децибелах відносно $1 \cdot 10^{-12} \text{Вт}/\text{м}^2$.

Напруженість електромагнітного поля вимірюють, використовуючи такі засоби вимірювальної техніки та метрологічне обладнання [3]:

- а) калібровану антену з відомими характеристиками;
- б) коло зв'язку і/або лінію передавання (фідер);
- в) вимірювальний РПП або аналізатор спектра, який має:
 - пристрої попередньої селекції та послаблення сигналів;
 - підсилювач перед головним змішувачем та фільтром ПЧ (перевагу мають фільтри з малим відношенням значень ширини смуги пропускання на рівнях 60 дБ і 6 дБ);
 - детектор та індикатор;
- г) джерело каліброваного сигналу.

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

- отримання вимірів, пропорційних до середньоквадратичного значення напруженості поля радіочастотного сигналу;
- повторюваність вимірів (можливість проведення багаторазових вимірювань протягом тривалого часу без повторного калібрування самого обладнання або його складових);
- високу точність (виміри, отримані в постійному за рівнем полі, наприклад незалежно двома операторами на різних засобах радіоконтролю, повинні бути однаковими);
- динамічний діапазон не менш як 60 дБ;
- можливість збереження отриманих даних для їх аналізу;
- можливість управління процесом контролю та оброблення даних за допомогою ПЕОМ.

Наземні рухомі засоби радіоконтролю мають до того ж бути оснащені додатковим навігаційним обладнанням для забезпечення «прив'язки» вимірів до конкретних географічних координат.

Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання та густини потоку потужності класифікують, як правило, за трьома смугами частот: до 30 МГц, від 30 МГц до 1 ГГц і понад 1 ГГц. Такий поділ пояснюється передусім тим, що оптимальні методи вимірювань у цих смугах суттєво різняться.

Так, у смугах частот до 30 МГц використовувані вимірювальні антени мають незначні порівняно з довжиною хвилі λ розміри (близько $0,1\lambda$). Вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання, як правило, проводяться на висотах, близьких до електропровідної поверхні Землі, тому земна поверхня, рослинність, проводи й будівлі в зоні проведення вимірювань по-різному впливають на напруженість електричного складника поля. Особливо суттєво піддаються впливу навколишнього середовища штирові антени.

У смугах частот від 30 МГц до 1 ГГц використовувані вимірювальні антени мають розміри, порівнянні з довжиною хвилі.

У смугах частот понад 1 ГГц площа розкриття симетричного вібратора стає занадто малою для забезпечення необхідної чутливості, тому на цих частотах, як правило, застосовують спрямовані антени, особливо в разі приймання слабких сигналів.

Нині ще недостатньо визначено верхню частотну межу для успішного вимірювання напруженості поля, але, як зазначено у [3], 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.

Для забезпечення потрібної точності вимірювання напруженості електромагнітного поля складові частини обладнання неодмінно калібрують.

У процесі проведення радіоконтролю напруженості поля рекомендується дотримуватися такого [3]:

1) якщо вимірювальна антена перебуває на висоті від 1,5 до 3 м, то результат слід вважати таким, який було б отримано з антеною, розміщеною на висоті 3 м;

2) оскільки радіосигнал, напруженість поля якого потрібно виміряти, може надходити на вимірювальну антену з різних напрямів, то потрібно перед вимірюваннями проаналізувати ДН антени, щоб знати її вплив на виміри;

3) похибка визначення ДН вимірювальної антени в горизонтальній площині має бути не більш як 3 дБ.

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 [110];

2) *прискорені методи*, для яких узято нижчу точність з урахуванням мети, з якою будуть використовуватися виміри, а також коли спрощені процедури і/або обладнання дозволяють швидше й 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 в разі наявності радіозавад від зарубіжних ДРВ).

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

За вимогами Рекомендацій МСЕ для проведення вимірювання (інструментального оцінювання) напруженості поля антена має встановлюватися на висоті 10 м над землею поверхнею (як варіант — на телескопічній щоглі) і згідно з характеристиками поширення радіохвиль у цих діапазонах підстроюється за напрямом та поляризацією.

Значення максимальної похибки вимірювання напруженості електромагнітного поля для станцій міжнародного радіоконтролю наведено в Рекомендації ІТУ-Р SM.378: не більш як ± 2 дБ на частотах до 30 МГц включно і не більш як ± 3 дБ на частотах понад 30 МГц [110].

У цій Рекомендації наведено також деякі важливі уточнення щодо похибок вимірювання, а саме: вони чинні лише за відсутності впливу на виміри значних рівнів атмосферних і/або власних шумів РПП, зовнішніх радіозавад і/або інтерференції хвиль. Загалом точність вимірювання напру-

женості електромагнітного поля залежить і від впливу багатьох інших чинників: класу радіовипромінювання, рівня сигналу та стабільності його частоти, типу детектора вимірювального РПП, умов вимірювання, рельєфу місцевості, де проводяться вимірювання, наявності навколишніх предметів тощо.

Із метою отримання якомога точніших вимірів Рекомендація ІТУ-R SM.378 пропонує [110]:

1) на частотах до 30 МГц застосовувати рамкову або вертикальну штирову антену, причому останню — із противагою, яка може складатися, наприклад, із групи радіальних провідників, довжина яких не менша за подвоєну довжину самої антени, рознесених не більш ніж на 30° та ізованих від землі;

2) на частотах від 30 МГц до 1 ГГц застосовувати приймальну антену з тією самою поляризацією, що й передавальна антена передавача, напруженість поля сигналу якого контролюється, при цьому бажано, щоб антена перебувала на висоті не менш як 10 м над землею поверхнею;

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

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

5) калібрувати, якщо це можливо, антену та її фідер спільно з РПП, причому антени стаціонарних СРМ потрібно калібрувати періодично згідно з рекомендаціями виробника або відповідно до вимог технічного обслуговування.

Таблиця 10.12

Рекомендовані функції детектора та значення мінімальної ширини смуги частот контролю для деяких видів радіосигналів

Вид сигналу	Ширина смуги частот, кГц, не менш як	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
Носійна частота телевізійного сигналу	120	Пікова
Сигнал системи мобільного зв'язку (GSM)	300	Пікова за 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	
Вузкосмуговий ЧМ із рознесенням каналів:		Лінійно чи логарифмічно усереднена
— 12,5 кГц	7,5	
— 25 кГц	12	

У разі спостереження за модульованим радіовипромінюванням важливо знати ширину смуги частот сигналу та статистичну функцію детектора (лінійно усереднену, логарифмічно усереднену, пікову, квазіпікову, середньоквадратичну). Смуга частот пропускання РПП має бути достатньо широкою, щоб забезпечити приймання контрольованого сигналу разом з основними складниками його спектра. Водночас необхідно остерігатися надмірної смуги частот пропускання, аби уникнути впливу завад із суміжних каналів. Тип детектора має забезпечувати вимірювання, наприклад, носійної частоти сигналу. Рекомендовані для деяких видів радіочастотних сигналів функції детектора та значення мінімальної ширини смуги частот контролю наведено в табл. 10.12. [3].

10.5.4. Вимірювання зайнятості спектра

Контроль (вимірювання) зайнятості радіочастот, смуг радіочастот і радіочастотних каналів здійснюється з метою визначення ступеня ефективності використання радіочастотного спектра й надання інформації про це системі планування та регулювання використання РЧР. Ці відомості є вихідною інформацією як для ухвалення управлінських рішень стосовно визначення ефективності використання вже розподілених смуг радіочастот і/або перерозподілу їх для нових радіотехнологій, що впроваджуються в державі, так і для заборони додаткових присвоєнь частот у каналах, які використовуються інтенсивно. Зазначені відомості можуть бути й підставою для розслідування в разі використання каналів, в яких згідно з даними реєстру присвоєнь смуг і номіналів радіочастот немає жодних присвоєнь, або за відсутності роботи передавачів на присвоєних частотах.

Окрім того, контроль використання (зайнятості) спектра може виконуватися з метою ліцензування РЕЗ та обслуговування користувачів, які використовують нову частоту; для визначення ефективності використання частотних каналів або смуг частот; під час розгляду скарг користувачів щодо перевантаження їхніх частот, а також для отримання інформації стосовно поточного використання РЧС.

Оцінювання зайнятості РЧС здійснюється з урахуванням вимог Рекомендації ITU-R SM.182 [80], SM.1536 [83] і SM.1793 [84].

Згідно з положеннями Рекомендації ITU-R SM.182 характеристики та параметри обладнання автоматичних засобів радіомоніторингу мають бути не гіршими за такі:

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 залежно 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 менша (для мінімально необхідного діапазону частот);

6) *смуга пропускання* — змінювана від 10 Гц до 10 кГц (для мінімально необхідного діапазону частот);

7) *контрольовані характеристики сигналів*:

- носійна частота;
- ширина смуги частот;
- напруженість поля;
- тривалість сигналу;

8) *вид реєстрації (запису) сигналу* — комп'ютерний на магнітний носій у цифровому форматі.

Існує чіткий взаємозв'язок між тривалістю спостереження, кількістю каналів, середньою тривалістю передавання сигналу та тривалістю контролю [3; 84]. Час T перегляду каналу безпосередньо пов'язаний із часом t спостереження та кількістю k каналів співвідношенням

$$T = kt + t_{\text{обр}}, \quad (9.30)$$

де $t_{\text{обр}}$ — час оброблення інформації.

Для цих вимірювань час спостереження має бути набагато меншим від середньої тривалості передавання сигналу, тому для збереження прийнятнього 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 та бажаної точності.

Приклад контролю зайнятості спектра для типового радіосигналу, рівень якого змінюється з часом, наведено на рис. 9.14, *a–г* [3], де на спектрограмі

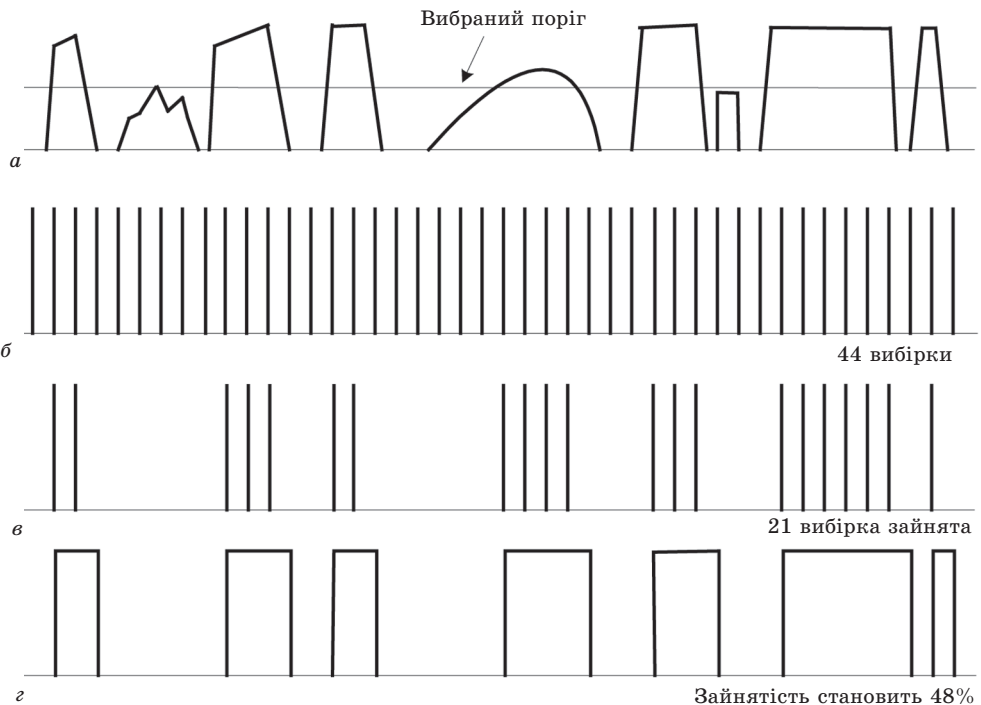


Рис. 9.14. Принцип контролю зайнятості спектра:
a — сигнал, що приймається (один канал); *б* — інтервали вибірки;
в — вибірки над порогом; *г* — виміряна зайнятість

сигналу зазначено вибраний пороговий рівень, щодо якого проводиться контроль зайнятості. Зображено вибірки разом із тими, котрі визначено як зайняті. У цьому прикладі протягом 21 із 44 періодів вибірки зайняті, тому реєструється 48% зайнятості спектра. Ці дані за потреби можуть бути об'єднані в одно-, п'яти- чи п'ятнадцятихвилинні інтервали.

Загальноприйнятими нині є вимірювання зайнятості спектра кожних 15 хв, що дозволяє отримати й записати для подальшого аналізу 96 вимірів за добу. Практикуються також щоп'ятихвилинні вимірювання зайнятості, але це потребує значно більшого обсягу пам'яті.

Цей метод контролю вважається традиційним. Він ґрунтується на контролі систематичних інтервалів із короткими проміжками часу між ними. Вимірювання проводяться протягом рівновіддалених проміжків часу. Згідно з цим методом вірогідно оцінюється зайнятість каналу, якщо взято достатню кількість вибірок. Відомості щодо необхідної кількості залежних і незалежних вибірок, необхідних для отримання даних із заданою точністю та вірогідністю, наведено в табл. 9.3.

Після того, як дані щодо зайнятості спектра зібрано, їх необхідно проаналізувати й подати результати аналізу в прийнятному форматі. Звітна інформація може мати вигляд таблиці, графіка, карти. При цьому відповідно до Рекомендації ITU-R SM.182 бажано, щоб у зазначених звітах неодмінно містилася 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 про користувача).

Для кожного вимірюваного сигналу бажано, як що це можливо, зазначити клас радіовипромінювання, пеленг і рівень шумів.

Приклад звіту у вигляді графіка наведено на рис. 9.15 [31].

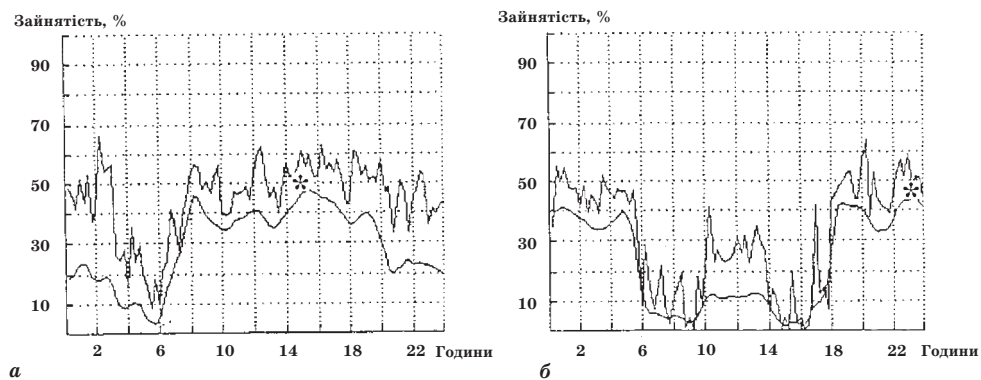


Рис. 9.15. Звіт про зайнятість одного каналу:
а — з понеділка по п'ятницю; б — у суботу та неділю

Цей звіт складено за результатами одного безперервного вимірювання, проведеного протягом 14 днів за традиційним методом. Вибірki здійснювалися протягом кожних 15 хв і усереднювалися, у результаті чого за добу отримувалося 96 вибірок для одного каналу. Верхня лінія на рис. 9.15, а, б відповідає максимальній зайнятості, нижня — поточній середній зайня-

тості. Час найбільшого завантаження (на полі обох рисунків йому відповідає зірочка) на рис. 9.15, *a* припадає на 9.15, а на рис. 9.15, *б* — на 23.30.

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. 9.16).

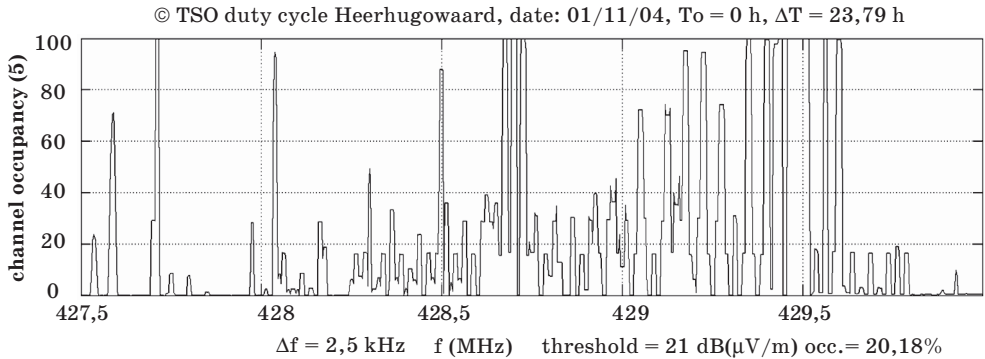


Рис. 9.16. Середньодобова зайнятість каналу [85]

Для унаочнення зайнятості певної смуги частот використовують також так звані водоспадні (або кольорові) діаграми зайнятості спектра.

9.6. Оцінювання зони покриття та показників якості обслуговування в мережах стільникового зв'язку GSM

9.6.1. Параметри оцінювання якості мереж GSM

А. Ступінь покриття

Ступінь покриття території країни мережами зв'язку GSM можна описати безрозмірними величинами (показниками), які характеризують співвідношення розмірів території, на якій забезпечується зв'язок стандартом GSM, до загальної території держави, або часткою (у відсотках) населення, охопленого послугами даного виду зв'язку. Окрім того, як оцінку ступеня покриття можна використовувати такий специфічний критерій, як ступінь покриття деяких головних доріг (магістралей). Поняття «покритих» і «непокритих» зон потрібно чітко визначити й забезпечити однакове тлумачення всіма зацікавленими сторонами. Якщо в умовах ліцензії стосовно цих понять (показників) немає особливих застережень, то мережі GSM слід розглядати в цілому, а показники покриття вимірювати одночасно в усіх частотних піддіапазонах.

Б. Коефіцієнт блокування

Коефіцієнт блокування визначається як частка (у відсотках) заблокованих спроб з'єднання, зумовлених безпосередньо особливостями мережі оператора, до суми вдалих спроб і заблокованих викликів.

В. Коефіцієнт обривів (переривання викликів)

Коефіцієнт обривів (переривання викликів) — величина, що характеризує відношення кількості перерваних з'єднань (після їх установаження) до загальної суми вдалих і перерваних з'єднань, зумовлених безпосередньо особливостями функціонування мережі оператора стільникового зв'язку.

9.6.2. Принципи оцінювання якості мереж зв'язку

Загальний підхід до методології моніторингу якості мережі зв'язку полягає в оцінюванні мережі з використанням різних тестів і формуванні частинних показників (коефіцієнтів) за кожним виконаним тестом. Після завершення проведення випробувань з урахуванням всіх частинних коефіцієнтів формується єдиний (загальний) коефіцієнт. У разі, якщо значення загального коефіцієнта не менше за 1, то вважається, що мережа відповідає вимогам, які висуваються.

Процедура оцінювання якості мережі GSM передбачає перевірку виконання оператором його зобов'язань, визначених у ліцензії, для чого передусім має бути чітко визначено обов'язки оператора. Оцінювання проводиться за результатами аналізу наданих оператором даних і практичних випробувань.

У разі, якщо необхідно провести оцінювання більш ніж однієї мережі, вимірювання мають проводитися одночасно (паралельно).

Для оцінювання коефіцієнтів покриття визначаються три параметри.

1. Покриття території $Obj_{\text{покр.тер}}$ (частка (у відсотках) покриття території відносно її загального розміру, наприклад 85%). Ваговий коефіцієнт параметра $P_{\text{тер}}$ становить 0,35.

2. Покриття населення $Obj_{\text{покр.нас}}$ (відносна величина, яка характеризує частку (у відсотках) населення, охопленого послугами певного стандарту стільникового зв'язку (радіотехнологією) у певному заданому регіоні), відносно загальної кількості населення в цьому регіоні (на цій території), наприклад 98%). Ваговий коефіцієнт $P_{\text{нас}}$ цього параметра також становить 0,35.

3. Покриття деяких головних доріг (магістралей) $Obj_{\text{покр.дор}}$ (відносна величина, яка характеризує частку (у відсотках) великих доріг на певній території (у певному регіоні), охоплених послугами систем стільникового зв'язку, відносно загальної кількості доріг на цій території, наприклад 100%). Ваговий коефіцієнт $P_{\text{дор}}$ цього параметра становить 0,30.

Вагові коефіцієнти описано далі.

Для рівня блокування та рівня обривів (переривання з'єднань) також можна визначити вагові коефіцієнти (наприклад, відповідно 0,03 і 0,02).

9.6.3. Вимірювання рівня покриття

Процедура оцінювання покриття базується на правилах, установлених для операторів GSM, таких як заявлене покриття оператора. Після аналізу заявленого значення проводяться вимірювання для підтвердження його відповідності дійсному. Цей метод уможливорює обмеження кількості трас, на яких виконуються вимірювання.

А. Критерій ухвалення рішення

Насамперед має бути визначено критерій ухвалення рішення про наявність/відсутність покриття. Критерій ухвалення такого рішення базується на використанні двох параметрів RxLev і RxQual, виміряних тестовим приймачем-передавачем GSM через кожні 470 мс. Ці параметри характеризують рівень приймання та якість з'єднання.

А.1. Рівень прийнятого сигналу RxLev

Кожний мобільний термінал GSM вимірює параметр RxLev. Протягом усього інтервалу з'єднання значення цього параметра відповідає рівню потужності сигналу, який приймається даним терміналом, у каналі передавання. Його значення може змінюватися в діапазоні від мінус 110 дБп до мінус 47 дБп. На практиці мобільна станція (мобільний термінал) передає БС інформацію про рівень прийнятого сигналу умовними символами: від 0 до 63, при цьому символ «0» відповідає рівню мінус 110 дБп, а «63» — рівню мінус 47 дБп (або рівню, що перевищує це значення).

Незважаючи на те, що у звіті за результатами проведеного моніторингу відображається тільки один параметр — RxLev, реально в мобільному терміналі можуть вимірюватися два параметри: RxLevFull і RxLevSub. Оскільки для даного типу вимірювань більше підходить параметр RxLevSub, то у звіті має бути чітко визначено, який саме параметр вимірювався.

А.2. Якість

Протягом усього з'єднання кожний приймач-передавач мобільного терміналу GSM вимірює параметр RxQual. Цей параметр може набувати значень від 0 (найвища якість) до 7 (найнижча якість).

А.3. Поріг ухвалення рішення

Поріг ухвалення рішення використовується для встановлення наявності зони покриття в даному місці (пункті). Кожна адміністрація зв'язку може сама встановлювати значення порогів. Але, зазвичай, рівні порогів для встановлення наявності покриття за межами будівель такі:

$$\begin{aligned} \text{RxLev} &\geq \text{мінус } 92 \text{ дБп [RxLev} \geq 18]; \\ \text{RxQual} &\leq 5. \end{aligned}$$

Б. Зв'язок між вимірним рівнем потужності та напруженістю електромагнітного поля

Непряме вимірювання рівня RxLev дозволяє оцінювати рівень напруженості електромагнітного поля на частоті, на якій проводяться вимірювання. Значення коефіцієнта k_{ref} перерахунку рівня сигналу, виміряного приймачем мобільного терміналу GSM, у рівень напруженості електромагнітного поля (антенний фактор, або k -фактор) для піддіапазонів частот 900 МГц і 1800 МГц визначається так:

$$k_{\text{ref},900} = 20\lg f(942,5) + 77,2 = 136,7(\text{дБм}^{-1}), \quad (9.31)$$

$$k_{\text{ref},1800} = 20\lg f(1842,5) + 77,2 = 142,5(\text{дБм}^{-1}). \quad (9.32)$$

Рівень порогу E_{ref} , визначений у значеннях напруженості електромагнітного поля, набирає вигляду:

$$E_{\text{ref},900} = -92,0(\text{дБп}) + 136,7(\text{дБм}^{-1}) = 44,7(\text{дБмкВ/м}), \quad (9.33)$$

$$E_{\text{ref},1800} = -92,0(\text{дБп}) + 142,5(\text{дБм}^{-1}) = 50,5(\text{дБмкВ/м}). \quad (9.34)$$

Згідно з наведеними значеннями, поріг ухвалення рішення за рівнем прийнятого мобільним терміналом сигналу можна визначити в такий спосіб: мінімальний рівень напруженості електромагнітного поля в пункті вимірювання в каналі передавання має становити 44,7 дБмкВ/м у піддіапазоні частот 900 МГц і 50,5 дБмкВ/м у піддіапазоні частот 1800 МГц.

Згідно з теорією вимірювання мають виконуватися стандартним приймачем GSM, який забезпечує рівень сигналу мінус 92 дБп для зазначених значень рівня напруженості електромагнітного поля.

В. Аналіз зони радіопокриття

В.1. Файл прогнозованого покриття

Для отримання об'єктивної інформації щодо відповідності заявленої зони радіопокриття реальній зоні необхідно, щоб оператори мереж стільникового зв'язку надавали всю потрібну інформацію про зони покриття своїх мереж. Це може бути, наприклад, файл, що подає комбіноване покриття мереж операторів стільникового зв'язку в піддіапазонах частот 900 і 1800 МГц у форматі, сумісному з форматом, який використовується геоінформаційною системою (ГІС). Такий файл складається із квадратів сітки (скажімо, розміром 50 × 50 м) для країни застосування. Для кожного квадрата оператор має позначити наявність/відсутність радіопокриття.

Розглянемо, наприклад, порядок оцінювання покриття оператора, що ґрунтується на використанні наведеного раніше припущення.

В.2. Обробка теоретичних файлів покриття

На першому кроці здійснюється аналіз теоретичних файлів покриття, поданих операторами мереж стільникового зв'язку. Програмне забезпечення (ПЗ) для обробки даних уможливує розрахунок частки (у відсотках) $D_{\text{покр.тер}}$ поверхні території, покритої відповідно до декларації оператора.

Для розрахунку відносної кількості населення, охопленого послугами мереж стільникового зв'язку, тобто частки (у відсотках) покриття населення, використовуються дані офіційної статистики. Порівнюючі ці дані з даними оператора, ПЗ має уможливити розрахунок частки (у відсотках) $D_{\text{покр.нас}}$ покриття населення згідно з декларацією оператора.

Для розрахунку частки (у відсотках) $D_{\text{покр.дор}}$ покриття доріг згідно із заявленими в декларації оператора даними ПЗ використовує географічні відомості про дороги (магістралі) і дані покриття, заявлені оператором.

Завдяки реалізації викладених процедур через оцінювання наданих оператором файлів покриття забезпечується перевірка заявленого покриття території, населення, доріг (магістралей).

В.3. Розрахунок теоретичних значень коефіцієнтів покриття

Визначені раніше коефіцієнти можуть використовуватися для оцінювання ступеня відповідності/невідповідності заявлених у декларації оператора даних умовам виданої йому ліцензії.

Для визначення коефіцієнта теоретичного покриття території $i_{\text{тер.теор}}$ заявлене покриття території $D_{\text{покр.тер}}$ порівнюється з реальним покриттям $Obj_{\text{покр.тер}}$, визначеним у ліцензії оператора:

$$i_{\text{тер. теор}} = \frac{D_{\text{покр. тер}}}{Obj_{\text{покр. тер}}} \cdot \quad (9.35)$$

Коефіцієнт теоретичного покриття (охоплення) населення $i_{\text{нас.теор}}$ розраховується аналогічно порівнянням заявленого покриття населення $D_{\text{покр.нас}}$ зі значенням $Obj_{\text{покр.нас}}$, передбаченим ліцензією оператора:

$$i_{\text{нас. теор}} = \frac{D_{\text{покр. нас}}}{Obj_{\text{покр. нас}}} \cdot \quad (9.36)$$

Аналогічно, коефіцієнт теоретичного покриття доріг $i_{\text{дор. теор}}$ розраховується порівнянням заявленого $D_{\text{покр.дор}}$ покриття доріг зі значенням $Obj_{\text{покр.дор}}$, наведеним у ліцензії:

$$i_{\text{дор. теор}} = \frac{D_{\text{покр. дор}}}{Obj_{\text{покр. дор}}} . \quad (9.37)$$

Г. Вимірювання на тестових трасах

Г.1. Вибір тестових трас

Для перевірки покриття території обирається десять тестових трас. Для їх вибору застосовуються такі критерії.

1. Населені пункти у країні поділяються на п'ять категорій, залежно від густоти населення.

2. При визначенні параметрів покриття з розрахунків виключаються населені пункти, покриття яких становить менш ніж 10%.

3. У кожній категорії за випадковим законом обираються по два населені пункти.

4. Відстані між обраними населеними пунктами мають бути не менш ніж 30 км.

5. Траса протяжністю понад 100 км обирається так, щоб вона перетинала населений пункт або проходила біля нього.

Для оцінювання показників покриття доріг беруть п'ять тестових трас протяжністю понад 100 км кожна. Вибір трас також здійснюється за випадковим критерієм.

Г.2. Проведення вимірювань уздовж тестових трас

Траса для вимірювання покриття території. Тестова траса, визначена вперше, передається на паперовому носії або в електронному вигляді групі, яка проводить вимірювання.

Перевірка всіх операторів проводиться одночасно.

Усі вимірювальні приймачі–передавачі мобільних терміналів GSM устанавлюються в режим тривалого з'єднання з автовідповідачем, розташованим в мережі оператора, який тестується. Ініціювання виклику дозволяє почати проведення моніторингу мережі оператора. Автовідповідач устанавлюється в режим автоматичного ввімкнення в разі надходження виклику та утримання його доти, доки він не буде загублений вимірювальним обладнанням.

Під час проведення тестування вимірювальне обладнання реєструє всі параметри виклику (дані сигналізації, обмін якими здійснюється між обладнанням GSM і мережею), що їх можуть візуалізувати оператори, котрі перевіряють проходження тестів.

Після завершення тестового об'їзду проводиться оброблення результатів вимірювань, зареєстрованих у форматі, сумісному з форматом, що використовується ГІС. Для обробки беруться два параметри — RxLev і RxQual.

Наприклад, на трасу вимірювань накладається сітка з розмірами чарунки 30 × 30 м. Розраховані середні значення RxLev і RxQual, виміряні в межах кожного квадрата, присвоюються центру цього квадрата. Ці результати зберігаються у форматі ASCII у файлі, де в кожному рядку записано координати центра квадрата (широта/довгота) і значення параметрів RxLev і RxQual, які відповідають даному квадрату.

Траси вимірювань на дорогах. Траси (маршрути руху) МСРМ визначаються так само, як і траси для вимірювання покриття території. Екстраполяція даних здійснюється накладанням на трасу сітки з розмірами чарунки 60×60 м (замість сітки 30×30 м). Ця вимога враховує вищу швидкість руху транспортного засобу МСРМ, що залучається для проведення вимірювань.

Оцінювання покриття вздовж траси. Для оброблення результатів, отриманих у процесі тестування, дані моніторингу імпортуються до програмного комплексу. Потім результати проведених вимірювань порівнюються з даними, заявленими оператором. Результати цього порівняння у вигляді коефіцієнтів покриття для кожного прикладу наведено далі.

Розрахунок виміряного коефіцієнта для трас під час вимірювання покриття території. Під час проведення розрахунків покриття території використовується сітка з розмірами чарунки 50×50 м, для кожної з яких розраховується середнє значення покриття, присвоюване її центру. При цьому крок сітки, що використовується для усереднення результатів вимірювань, має бути таким самим, як і крок, що використовується для теоретичного розрахунку покриття (увагу треба приділити виключенню систематичної похибки за рахунок зсуву між виміряними та теоретичними даними).

Процедура розрахунку виміряного значення коефіцієнта покриття (для траси з розмірами чарунки 50×50 м) реалізується виконанням таких операцій.

1. У разі перевищення заданого рівня порогу ухвалення рішення (у нашому випадку $RxLev \geq 18$ (крок) і $RxQual \leq 5$) даному квадрату присвоюється значення одиниця, у протилежному випадку — нуль.

2. За результатами вимірювань розраховується частка у відсотках (Percent) покритої вздовж траси території, яку позначаємо $Percent_{\text{вимір. тер dt}}$.

3. З використанням наданої оператором декларації розраховується частка у відсотках покритої вздовж траси території $Percent_{\text{теор. тер dt}}$.

4. Розраховується коефіцієнт покриття траси за формулою:

$$i_{\text{вимір. тер dt}} = \frac{Percent_{\text{вимір. тер dt}}}{0,95Percent_{\text{теор. тер dt}}} \quad (9.38)$$

Ваговий коефіцієнт 0,95 вводиться для того, щоб ураховувати всі невізначеності вимірювань; якщо виміряний коефіцієнт покриття становить 95% від заявленого оператором, то $Percent_{\text{вимір. тер dt}}$ вважається таким, що дорівнює одиниці.

Загальний (інтегральний) коефіцієнт покриття для всіх трас $i_{\text{вимір. тер}}$ розраховується з урахуванням всіх коефіцієнтів і вагового коефіцієнта, пропорційного до довжини траси l_{dt} :

$$i_{\text{вимір. тер}} = \sum_{\text{тест.проіз}} \frac{l_{dt}}{\sum_{\text{тест.проіз}} l_{dt}} i_{\text{вимір. тер dt}} \quad (9.39)$$

Розрахунок виміряного коефіцієнта для трас уздовж автомагістралей. Розрахунок виконується за алгоритмом, аналогічним розглянутому раніше:

1. На першому кроці імпортується сітка з розмірами чарунки 60×60 м.

2. На другому кроці розраховується коефіцієнт для траси як відношення частки у відсотках території, покритої вздовж траси згідно з результата-

ми вимірювань ($\text{Percent}_{\text{вимір.дор } dt}$), до відсотка території, визначеному в декларації оператора ($\text{Percent}_{\text{теор.дор } dt}$):

$$i_{\text{вимір.дор}dt} = \frac{\text{Percent}_{\text{вимір.дор}dt}}{\text{Percent}_{\text{теор.дор}dt}}. \quad (9.40)$$

Узагальнений коефіцієнт покриття, виміряний для всіх трас, обчислюється аналогічно:

$$i_{\text{вимір.дор}} = \sum_{\text{тест.проіз}} \frac{l_{dt}}{\sum_{\text{тест.проіз}} l_{dt}} i_{\text{вимір.дор}dt}. \quad (9.41)$$

Розрахунок коефіцієнта покриття території, населення та доріг і коефіцієнта покриття мережі. Для кожної мережі зв'язку задається загальний коефіцієнт покриття, який характеризує ступінь виконання оператором своїх обов'язків щодо покриття.

Цей коефіцієнт формується в результаті об'єднання всіх попередньо розрахованих коефіцієнтів. Останнє стосується як теоретично розрахованих коефіцієнтів покриття (порівняння заявленого оператором і зазначеного в його ліцензії), так і виміряного коефіцієнта покриття (порівняння виміряного та декларованого оператором).

Коефіцієнт покриття території $i_{\text{тер}}$ розраховується як добуток теоретичного $i_{\text{теор.тер}}$ коефіцієнта покриття території та виміряного $i_{\text{вимір.тер}}$ коефіцієнта покриття території:

$$i_{\text{тер}} = i_{\text{теор.тер}} i_{\text{вимір.тер}}. \quad (9.42)$$

Коефіцієнт покриття населення. Зауважимо, що через складність розрахунків частки покриття населення вздовж виміряних трас на практиці коефіцієнт покриття населення $i_{\text{нас}}$ розраховується як добуток теоретичного коефіцієнта покриття населення $i_{\text{теор.нас}}$ і виміряного $i_{\text{вимір.нас}}$ коефіцієнта покриття населення:

$$i_{\text{нас}} = i_{\text{теор.нас}} i_{\text{вимір.нас}}. \quad (9.43)$$

Коефіцієнт покриття доріг $i_{\text{дор}}$ розраховується як добуток теоретичного $i_{\text{теор.дор}}$ і виміряного $i_{\text{вимір.дор}}$ коефіцієнтів покриття доріг:

$$i_{\text{дор}} = i_{\text{теор.дор}} i_{\text{вимір.дор}}. \quad (9.44)$$

Коефіцієнт покриття мережі. Узагальнений коефіцієнт покриття мережі $i_{\text{покр}}$ розраховується підсумовуванням всіх розглянутих раніше коефіцієнтів ($i_{\text{тер}}$, $i_{\text{нас}}$, $i_{\text{дор}}$) з урахуванням відповідних вагових коефіцієнтів ($P_{\text{тер}}$, $P_{\text{нас}}$, $P_{\text{дор}}$), визначених у ліцензіях операторів:

$$i_{\text{покр}} = P_{\text{тер}} i_{\text{тер}} + P_{\text{нас}} i_{\text{нас}} + P_{\text{дор}} i_{\text{дор}}. \quad (9.45)$$

9.6.4. Вимірювання рівня блокування

А. Принципи вимірювання

Принцип вимірювання рівня блокування полягає ось у чому.

1. Із використанням вимірювального обладнання здійснюється серія вдалих з'єднань.

2. Кожне з'єднання (або спроба з'єднання) категоризується залежно від повідомлення сигналізації, згідно з яким відбувається обмін із мережею. При цьому можливі такі категорії:

- добре — з'єднання було вдалим;
- заблоковано — повідомлення сигналізації між мережею та тестовим обладнанням GSM на інтервалі фази встановлення зв'язку свідчить про те, що з'єднання неможливе.

- втрачено — повідомлення сигналізації між мережею і тестовим обладнанням GSM на інтервалі фази встановлення зв'язку свідчить про те, що з'єднання втрачене.

- немає обслуговування — відсутнє покриття.

Кількість викликів у кожній категорії реєструється вимірювальним обладнанням, і результати тесту на блокування розраховуються на основі цих даних. Тестування проводиться у фіксованих пунктах. Також можливі й інші види тестування (наприклад, уздовж траси).

Б. Кількість і місце проведення вимірювань

У загальному випадку має проводитися шість вимірювань. Для цього в кожній із трьох груп із найбільшою густиною населення (згідно з класифікацією населених пунктів країни на п'ять груп за густиною населення) за випадковим законом обираються два населених пункти (у принципі, можна взяти будь-які інші тестові сайти, наприклад бізнес-зони з низькою густиною населення). Щоб уникнути блокування викликів через погану якість радіолинії, тестові вимірювання проводяться в пунктах, де

$$RxLev \geq \text{мінус } 70 \text{ дБп.} \quad (9.46)$$

В. Час проведення вимірювань

Вимірювання доцільно проводити під час максимального навантаження. Конкретний час визначається спільно з операторами зв'язку. Якщо час максимального навантаження значно різниться для різних операторів, то через це може виявитися неможливим одночасне тестування різних операторів.

Якщо час пікового навантаження визначити важко, то адміністрація може обрати час проведення вимірювань протягом робочого дня на власний розсуд.

Г. Процедура проведення вимірювань

Вимірювання зводяться до періодичного повторення кількох операцій.

1. Здійснюється виклик.

2. У разі вдалого з'єднання зв'язок утримується протягом 15 с.

3. Після завершення зазначеного інтервалу часу з'єднання переривається.

4. Період очікування становить 15 с.

У разі, якщо виклик було заблоковано, то нова спроба здійснюється через 15 с.

Виклик спрямовується на автовідповідач, під'єднаний до мережі оператора, для того, аби мати впевненість, що будь-яке блокування здійснюється в мережі цього оператора.

Програмне забезпечення реєструє результати викликів протягом інтервалу тестування; процедура зупиняється між 200 і 220 викликами, за яких може бути досягнуто оцінки «добре».

Рівень блокування $t_{\text{блок.тест}}$ для вимірювання розраховується за формулою

$$t_{\text{блок.тест}} = \frac{\text{Кількість «заблокованих» викликів}}{\text{Кількість «вдалих» викликів} + \text{Кількість «заблокованих» викликів}} \cdot (9.47)$$

Зауважимо, що при розрахунку $t_{\text{блок.тест}}$ не враховуються виклики, які мають категорії, відмінні від «добре» і «заблоковано», тобто цей тест сто-сується тільки параметрів блокування.

Д. Розрахунок коефіцієнта для рівня блокування

Для оцінювання результатів вимірювання необхідно об'єднати результа-ти різних вимірювань і визначити коефіцієнт для рівня блокування.

Рівень блокування для всіх тестів розраховується з урахуванням вагових коефіцієнтів для різних вимірювань залежно від густоти $\rho_{\text{нас. тест}}$ населення населених пунктів, де проводилися вимірювання:

$$t_{\text{блок}} = \sum_{\text{Вимірювання}} \frac{\rho_{\text{нас. тест}}}{\sum_{\text{Вимірювання}} \rho_{\text{нас. тест}}} t_{\text{блок.тест}} \quad (9.48)$$

Коефіцієнт для рівня блокування допомагає порівняти результати вимі-рювань рівня блокування $t_{\text{блок}}$ зі значенням, наведеним у ліцензії ($Obj_{\text{блок}}$). Для цього можна скористатись формулою, що забезпечує нормування кое-фіцієнта блокування:

$$i_{\text{блок}} = 1 - \frac{t_{\text{блок}} - Obj_{\text{блок}}}{2 Obj_{\text{блок}}} \quad (9.49)$$

9.6.5. Вимірювання рівня обривів

А. Принцип вимірювань

Принцип вимірювань аналогічний принципу, що використовується для вимірювання рівня блокування, тобто зводиться до здійснення послідовності з'єднань та їх категоризації (поділу на категорії «добре», «втрачено», «за-блоковано», «немає з'єднання»). Вимірювання проводяться вздовж траси.

Б. Кількість та місце проведення вимірювань

Згідно із запропонованою методикою проводиться п'ять вимірювань. При цьому територія країни поділяється на п'ять регіонів. У кожному регіоні визначається траса, розташована в зоні декларованого покриття оператора. Це дозволяє виключити обриви з'єднань, розташованих на краю зони обслу-говування оператора.

Якщо одночасно проводиться тестування кількох операторів, то траса має проходити через зону, яка покривається всіма операторами.

В. Процедура вимірювання

Процедура вимірювання виконується в такій послідовності.

1. Здійснюється виклик.
2. У разі здійснення з'єднання зв'язок підтримується протягом 2 хв.
3. Після закінчення зазначеного часу з'єднання переривається.
4. Очікування триває 15 с.

Якщо з'єднання було перервано, то нова спроба здійснюється через 15 с. Виклик спрямовується на автовідповідач, підімкнений до мережі опе-ратора, для того, аби мати впевненість, що будь-які обриви відбуваються в мережі саме цього оператора. Програмне забезпечення реєструє резуль-тати викликів і з'єднань протягом усього періоду тестування. Процедура зупиняється між 100 і 110 викликами, за якими може бути досягнуто оцінки «добре».

Коефіцієнт обривів розраховується за формулою

$$t_{\text{обрив.тест}} = \frac{\text{Кількість «перерваних» викликів}}{\text{Кількість «вдалих» викликів} + \text{Кількість «перерваних» викликів}} \cdot \quad (9.50)$$

Зауважимо, що при цьому в розрахунках не враховуються виклики, які належать до категорій, відмінних від «добре» і «обірвано», тобто цей тест стосується лише коефіцієнтів обривів.

Г. Розрахунок коефіцієнта для рівня обривів

Для оцінювання результатів вимірювання необхідно об'єднати результати різних вимірювань та визначити коефіцієнт для рівня обривів.

Рівень обривів $t_{\text{обрив}}$ за результатами серії вимірювань розраховується як середній рівень обривів за різними тестами:

$$t_{\text{обрив}} = \frac{\sum t_{\text{обрив.вимір}}}{\text{Кількість вимірів}} \cdot \quad (9.51)$$

Коефіцієнт обривів $t_{\text{обрив}}$, який забезпечує порівняння результатів вимірювань із заявленими оператором ($Obj_{\text{обрив}}$) і нормування коефіцієнта обривів до одиниці, можна розрахувати за формулою

$$i_{\text{обрив}} = 1 - \frac{t_{\text{обрив}} - Obj_{\text{обрив}}}{2 Obj_{\text{обрив}}} \cdot \quad (9.52)$$

9.6.6. Узагальнений коефіцієнт якості

Процедура оцінювання якості зв'язку має на меті перевірити виконання оператором умов ліцензії. Для цього проведені вимірювання мають забезпечити можливість визначення трьох коефіцієнтів: що відповідають моніторингу з урахування трьох основних вимог до оператора:

- коефіцієнта $i_{\text{покр}}$ покриття мережі;
- коефіцієнта $i_{\text{блок}}$ блокування;
- коефіцієнта $i_{\text{обрив}}$ обривів.

Для отримання інтегральної оцінки якості мережі зв'язку ці три коефіцієнта ($i_{\text{покр}}$, $i_{\text{блок}}$, $i_{\text{обрив}}$) доцільно об'єднати в єдиний (узагальнений) коефіцієнт $i_{\text{заг}}$. Наприклад, можна скористатися формулою (яку можна змінити, залежно від того, наскільки вагомими адміністрація вважає ті чи інші параметри)

$$i_{\text{заг}} = 0,8(10i_{\text{покр}} - 9) + 0,1i_{\text{блок}} + 0,1i_{\text{обрив}} \cdot \quad (9.53)$$

Якщо загальний коефіцієнт перевищує одиницю, то вважається, що оператор виконує вимоги (умови) ліцензії.

Значення розглядуваних коефіцієнтів мають такі межі:

$$i_{\text{покр}} \in [0; > 1];$$

$$i_{\text{блок}} \in [< 0; 1];$$

$$i_{\text{обрив}} \in [< 0; 1];$$

$$i_{\text{заг}} \in [< 0; > 1].$$

Скориставшись визначеними раніше коефіцієнтами та наведеною щойно формулою розрахунку загального коефіцієнта, оператор може компенсувати незадовільні результати щодо коефіцієнта рівня блокування та

коефіцієнта обривів (коли значення цих коефіцієнтів менші від 1) завдяки доброму результату щодо покриття (коефіцієнт покриття більший від 1), але не навпаки.

Якщо коефіцієнт покриття менший від 1, то загальний коефіцієнт буде меншим, бо значення коефіцієнтів блокування обривів обмежені одиницею.

9.7. Структура системи радіомоніторингу

9.7.1. Взаємодія СРЧМ з іншими системами

Як уже зазначалося, СРЧМ — це основне джерело інформації, а разом із системою планування та розподілу РЧР і системою радіоінспектування — важлива складова системи частотного менеджменту. При цьому СРЧМ тісно взаємодіє з іншими системами, зокрема з білінговою та системою контролю ввезення РЕЗ.

Структуру взаємодії всіх зазначених систем унаочнює рис. 9.17.

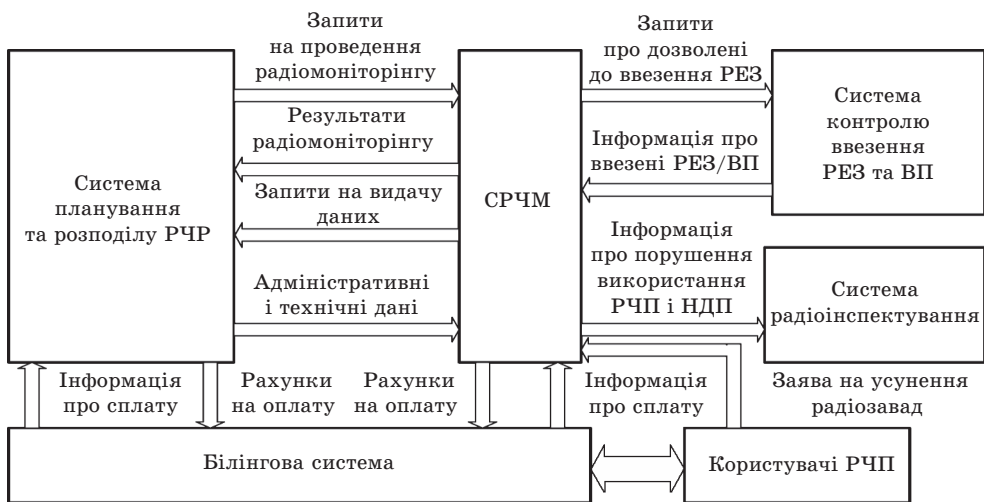


Рис. 9.17. Структура взаємодії СРЧМ з іншими системами

Беручи до уваги зміст завдань, покладених на СРЧМ, та її потреби щодо забезпечення їх розв'язання, можна стверджувати, що СРЧМ є одним із головних *користувачів інформації*, що зберігається в базі даних (БД) системи планування та розподілу РЧР, зокрема інформації про присвоєння смуг радіочастот, яка містить у собі дві основні групи даних.

1. Адміністративні дані про РЕЗ:

- найменування користувача РЧР, його юридичну та фактичну адресу;
- місце розташування передавача й антенної системи РЕЗ (адреса та географічні координати);
- дозволений час роботи РЕЗ;
- термін дії дозволу на експлуатацію РЕЗ.

2. Технічні дані про РЕЗ:

- значення носійної (середньої) частоти;
- значення ширини спектра випромінювання та вид модуляції;
- потужність передавача;

- інформація про характеристики антени (тип, поляризація, коефіцієнт підсилення та ширина діаграми спрямованості антени), напрям головного максимуму, висота підйому тощо.

Водночас радіомоніторинг є ключовим *джерелом інформації* про стан використання РЧР для системи планування та розподілу РЧР, що сприяє розв'язанню завдань з ефективного регулювання використання цього ресурсу. У загальному вигляді місце та роль СРЧМ було розглянуто раніше, причому передусім із погляду функціональних можливостей СРЧМ.

Цю інформацію елементи СРЧМ використовують як:

- *апріорну* про можливість наявності радіовипромінювання з певними частотними та часовими параметрами (на фіксованій частоті, із заданою шириною спектра, рівнем та видом модуляції) — у процесі моніторингу спектра;

- *еталонну* — у процесі здійснення радіоконтролю та перевірки легітимності роботи певного РЕЗ у певному пункті;

- *довідкову* — у процесі пошуку джерела радіозавади.

СРЧМ здійснює радіоконтроль параметрів випромінювань РЕЗ у процесі:

- виконання планових робіт на підставі договорів із користувачами РЧР;
- виконання робіт за заявками на усунення радіозавад для РЕЗ користувачів РЧР;

- перевірки правильності розрахунків ЕМС, виконаних підрозділами, що входять до складу системи планування та розподілу РЧР.

У разі отримання заявки на усунення радіозавад підрозділи служби радіомоніторингу здійснюють пошук джерел радіозавад і реалізують заходи щодо усунення їхньої дії, після чого надсилають заявникові рахунок за виконання робіт.

Докладніше питання взаємодії систем, що входять до системи частотно-го менеджменту, розглянуто у [8].

9.7.2. Узагальнена структура системи радіомоніторингу

Системи радіомоніторингу в різних країнах можуть істотно відрізнитися одна від одної за структурою, кількістю складових елементів та організацією взаємодії між ними. Проте до її складу неодмінно входять три основні складові:

- орган керування СРЧМ;
- джерела інформації про електромагнітну обстановку;
- канали зв'язку (передавання даних).

Загальну організаційну структуру СРЧМ (відому багатьом за Довідником з радіоконтролю [3]) наведено на рис. 9.18.

Інформаційну основу СРЧМ становлять стаціонарні (фіксовані) СРМ, які забезпечують розв'язання завдань із радіомоніторингу в межах регіону, розміри якого визначаються зоною їх радіодоступності (це стосується принаймні СРМ ДВЧ/УВЧ діапазонів). У більших (за розмірами території, кількістю населення й кількістю РЕЗ, що експлуатуються) країнах цим станціям можуть бути підпорядковані віддалені СРМ, розташовані в невеликих населених пунктах (у тому числі портових містах, на залізничних станціях), поруч із великими об'єктами державного значення (атомними електростанціями, аеропортами тощо), а також дистанційно керовані СРМ у великих містах.

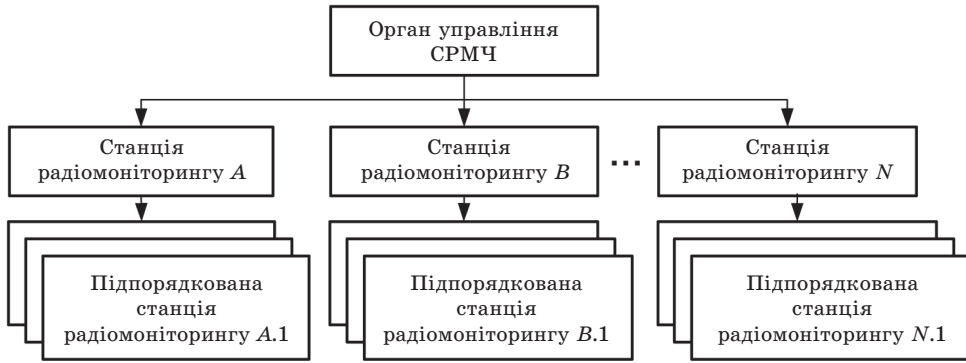


Рис. 9.18. Загальна організаційна структура СРЧМ

Для розширення зони радіодоступності стаціонарний компонент може доповнюватися мобільним.

Керує роботою всієї СРЧМ спеціалізований орган, який визначає завдання, а також забезпечує обробку й узагальнення результатів радіомоніторингу і ресурси цієї системи.

І хоча наведена структура СРЧМ визначає лише загальні підходи до організації таких систем, усе ж її аналіз дозволяє задати дуже важливі вимоги до структури СРЧМ, що припускають:

- 1) використання ієрархічної структури;
- 2) наявність центрального органу керування всією системою.

Відповідно до положень Рекомендації ІТУ-R SM.1537 [119] для ефективного розв'язання завдань і зменшення витрат СРЧМ має бути інтегрована в єдину автоматизовану систему управління використанням спектра (систему частотного менеджменту). Типову структуру такої системи (відповідно до [119]) наведено на рис. 9.19.

Зауважимо, що така структура автоматизованої системи частотного менеджменту в цілому та в тій її частині, що стосується СРЧМ, доцільна для реалізації в невеликих (за розмірами території, кількістю населення та РЕЗ, що експлуатуються) країнах. Що ж до СРЧМ, які містять десятки стаціонарних СРМ, розгорнутих на території площею в сотні тисяч квадратних кілометрів, то така структура придатна лише для опису підсистеми, відповідальної за радіомоніторинг на невеликих територіях. Утім позитивним аспектом запропонованого варіанта є те, що він визначає такі дві (щодо структури, зображеної на рис. 9.18) вимоги до організації СРЧМ:

- 3) автоматизація процесів взаємодії між системою планування та розподілу РЧР і СРЧМ;
- 4) автоматизація управління станціями радіомоніторингу, процесами збирання, оброблення та зберігання результатів радіомоніторингу, які передбачають об'єднання СРМ у єдину автоматизовану систему радіомоніторингу.

Для забезпечення розв'язання завдань радіомоніторингу на великих територіях СРЧМ будується за багаторівневим ієрархічним принципом.

Такий принцип передбачає наявність у її складі:

- Центрального (головного) пункту управління (ЦПУ) СРЧМ, який представляє її верхній рівень;

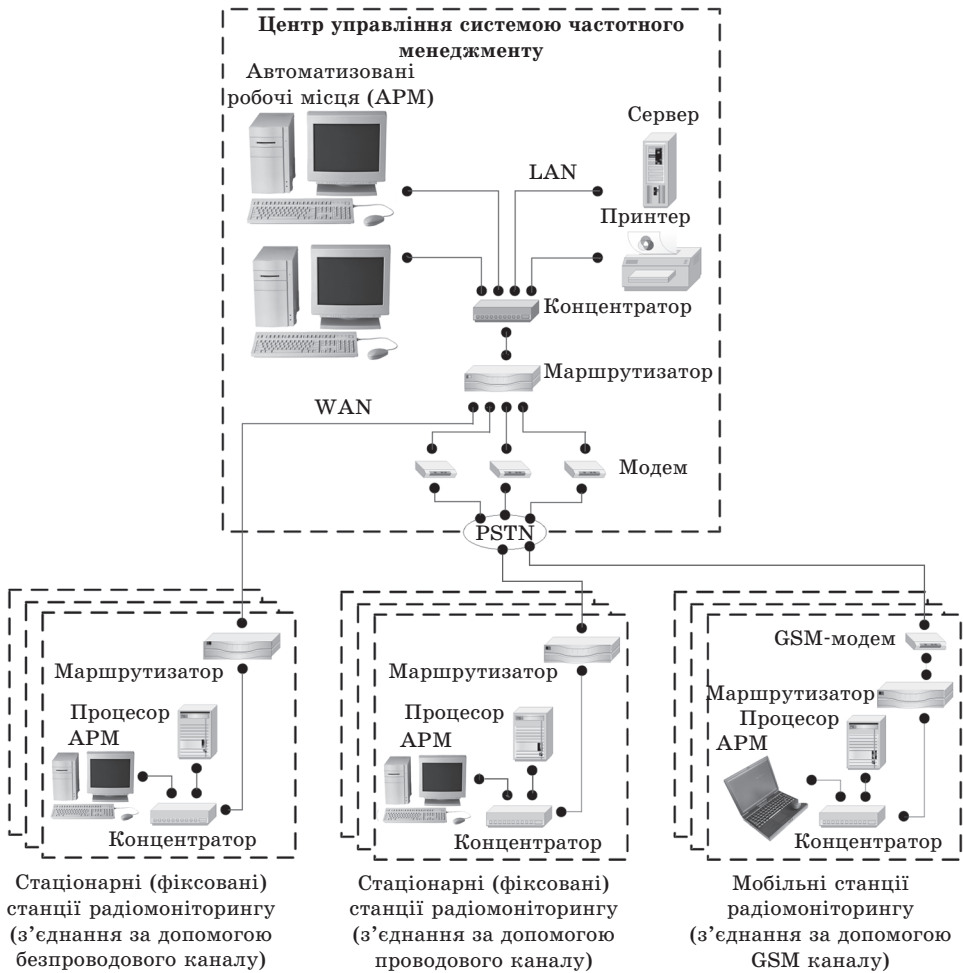


Рис. 9.19. Типова структура єдиної автоматизованої системи частотного менеджменту (відповідно до Рекомендації ITU-R SM.1537)

- регіональних підсистем радіомоніторингу (РПРМ), які представляють нижній рівень;

- технічної служби радіомоніторингу.

Структуру взаємодії елементів СРЧМ ілюструє рис. 9.20.

На ЦПУ покладено виконання таких функцій:

- управління роботою всіх РПРМ (централізоване планування робіт і поставлення завдань як для РПРМ, так і для окремих СРМ);

- контроль виконання РПРМ поставлених завдань;

- моніторинг (контроль) роботоздатності СРМ, що входять до складу РПРМ, і каналів зв'язку (передавання даних);

- оброблення й узагальнення результатів радіомоніторингу, отриманих від РПРМ;

- супровід бази даних обліку РЕЗ і бази даних результатів радіомоніторингу.

Найчастіше ЦПУ територіально розташовується якнайближче до офісу органу управління, а в окремих випадках (у невеликих СРЧМ) він може сполучатися з одним із РКП.

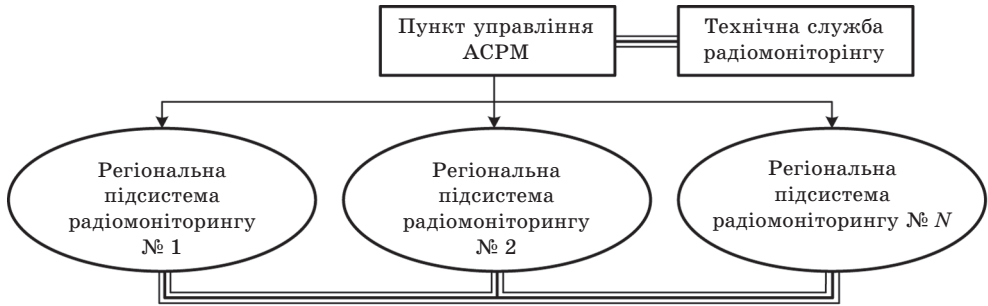


Рис. 9.20. Структура взаємодії елементів СРЧМ (тонкі лінії зі стрілками унаочнюють підпорядкованість елементів, а потовщені — їхню взаємодію)

Проведення радіомоніторингу в ДВЧ/УВЧ діапазонах частот є винятково прерогативою РПРМ. Окремі СРМ, наприклад станції радіоконтролю ВЧ діапазону, станції супутникового моніторингу, спеціалізовані мобільні (рухомі) станції технічного контролю, які забезпечують радіоконтроль у смугах частот понад 3 ГГц, можуть не входити організаційно до жодної РПРМ і обслуговуються фахівцями технічної служби радіомоніторингу.

На технічну службу покладено розв'язання завдань із технічної підтримки РПРМ, забезпечення виконання нестандартних завдань радіомоніторингу (наприклад, проведення радіомоніторингу в смугах частот понад 3 ГГц, радіоконтролю поза зонами радіодоступності РПРМ, розв'язання проблем щодо усунення дії радіозавад, виконання робіт на запити міжнародних органів, проведення дослідження умов поширення радіохвиль, дослідної експлуатації нових зразків обладнання тощо).

Топологія СРЧМ (кількість і географічна конфігурація розташування РКП) визначається для кожної країни окремо й значною мірою залежить від багатьох чинників:

- завдань, покладених на СРЧМ;
- географічних особливостей території країни;
- фінансових можливостей регуляторного органу;
- територіального устрою держави;
- організації служби радіомоніторингу і т. ін.

Для забезпечення ефективного розв'язання завдань радіомоніторингу віддалені СРМ поєднуються в єдину автоматизовану систему радіомоніторингу. Як і будь-яка автоматизована система, АСРМ є класичною відкритою системою людина-машина, що забезпечує ефективне функціонування об'єкта, причому збирання та оброблення інформації, необхідної для реалізації функцій управління, здійснюється в цій системі із застосуванням обчислювальної техніки й засобів автоматизації. Під об'єктом управління в АСРМ розуміється сукупність апаратно-програмних комплексів (АПК) радіомоніторингу, програмного забезпечення, а також реалізованих за відповідними регламентами технічних, організаційних, економічних і фінансових процесів.

Узагальнену структурну схему АСРМ наведено на рис. 9.21, а структуру взаємодії ЦПУ АСРМ і РПРМ — на рис. 9.22.

Відповідно до загальноприйнятих принципів організації автоматизованих систем АСРМ має передбачати реалізацію різного ступеня участі персоналу в керуванні технічними засобами радіомоніторингу:

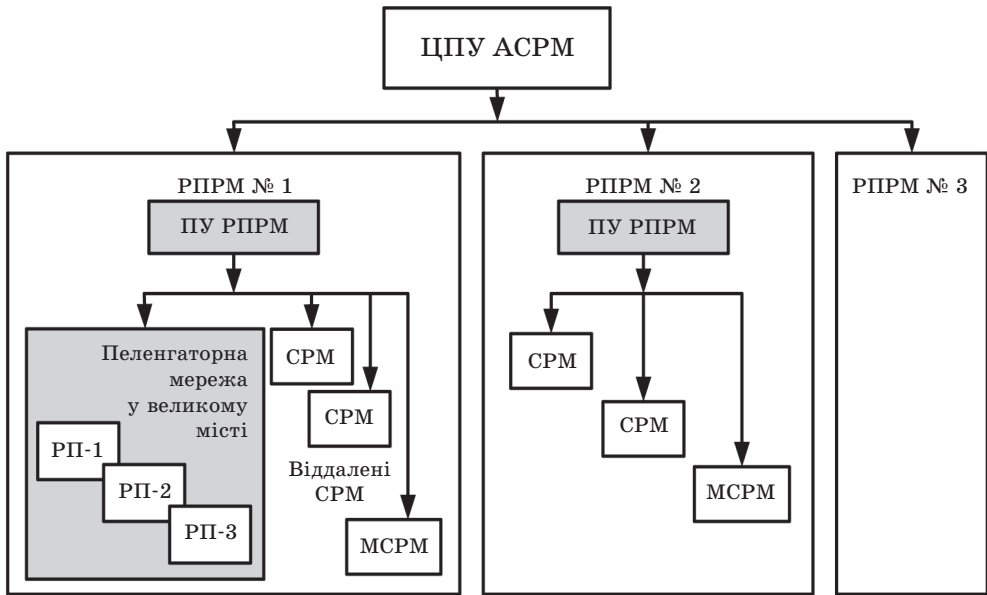


Рис. 9.21. Узагальнена структурна схема АСРМ
(РП — радіопеленгатори; МСРМ — мобільна станція радіомоніторингу)

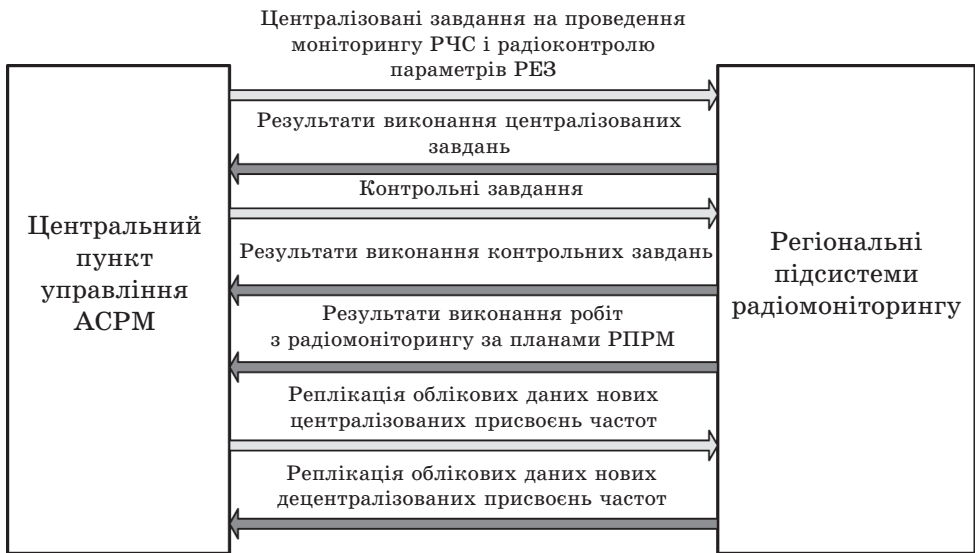


Рис. 9.22. Структура взаємодії ЦПУ АСРМ і РПРМ

- ручний режим, згідно з яким використовуване програмне забезпечення надає персоналу необхідну інформацію про технічні засоби, а вибір і реалізація керуючих впливів покладено на оператора радіочастотного контролю;
- діалоговий режим, коли персонал має змогу коригувати постановку та умови завдання, сформульованого програмним забезпеченням (ПЗ) АСРМ.

9.7.3. Структура побудови елементів АСРМ

Наведена в [3] структура АСРМ за кількістю та складом елементів і відповідно до використовуваної в цій праці термінології є не більш ніж РПРМ, що забезпечує розв'язання завдань на невеликій території. Розгорнуту структурну схему РПРМ наведено на рис. 9.23.

До складу РПРМ входять такі елементи:

- пункт (центр) управління (ПУ) РПРМ;
- стаціонарні (фіксовані) СРМ;
- мобільні (рухомі) станції радіомоніторингу.

На ПУ РПРМ покладено такі функції:

- виконання робіт за завданнями, отриманими від ЦПУ АСРМ, і видача результатів проведених робіт на ЦПУ;
- управління роботою всіх стаціонарних і мобільних станцій, що входять до складу РПРМ, із радіомоніторингу в межах її зони відповідальності;
- планування робіт із радіомоніторингу для стаціонарних і мобільних СРМ;
- збирання, оброблення та зберігання результатів радіомоніторингу;
- формування звітів за результатами виконаних робіт із радіомоніторингу;
- супровід БД обліку РЕЗ, які працюють у межах території, що належить до зони відповідальності РПРМ.

Окрім стаціонарного у складі РПРМ може використовуватися рухомий (мобільний) ПУ, на який можуть покладатися завдання з управління роботою окремих СРМ, обробки та оперативного аналізу результатів виконання ними завдань із радіомоніторингу.

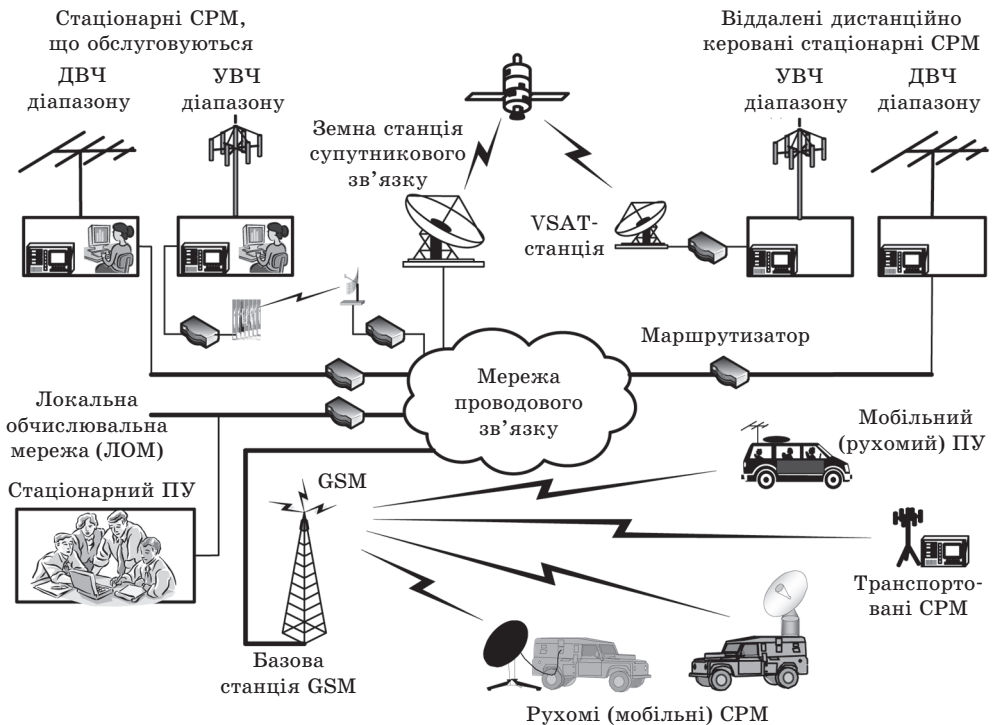


Рис. 9.23. Розгорнута структурна схема РПРМ

Найбільш характерним прикладом такої організації роботи РПРМ є використання МСРМ, яку розробила компанія «Rohde&Schwarz» у комплексі з кількома стаціонарними станціями R&S. У штатних умовах одна зі стаціонарних СРМ, як правило, є провідною, а інші СРМ (включаючи й МСРМ) — підпорядкованими. Провідна СРМ управляє роботою підпорядкованих стаціонарних станцій і ставить завдання з пошуку та вимірювання параметрів радіовипромінювань для МСРМ. У разі виявлення радіовипромінювання мобільною станцією для визначення місцезнаходження джерела триангуляційними методами, а також для поставлення завдань стаціонарним СРМ функції провідної станції можуть бути тимчасово покладені на МСРМ, яка виконує функції рухомого ПУ.

Загальні вимоги до приміщень для розташування обладнання РКП і ПУ РПРМ наведено в [3], але ці вимоги стосуються переважно їх планування, а не складу необхідного обладнання та оргтехніки. Комплект обладнання РКП визначається характером використання СРМ (стаціонарна або транспортована дистанційно керована або необслуговувана і т. ін). Тому тут він не розглядатиметься.

Загальний вигляд структури ЦПУ наведено на рис. 9.24.

До обов'язкових елементів ЦПУ АСРМ належать:

- АРМ начальника ЦПУ;
- АРМ планування радіоконтролю для підпорядкованих РПРМ;
- АРМ оперативного контролю результатів виконання завдань стаціонарними СРМ;
- АРМ адміністратора БД і локальної обчислювальної мережі (ЛОМ);
- сервер бази даних обліку РЕЗ;
- сервер БД радіообстановки (БД результатів радіомоніторингу);
- табло (екран) колективного користування;

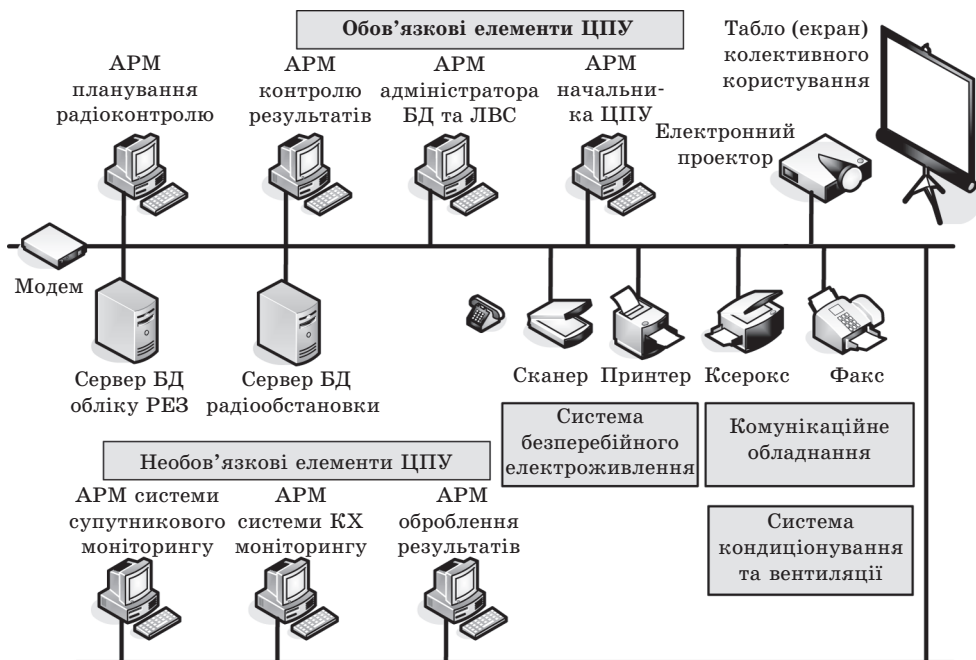


Рис. 9.24. Узагальнена структура ЦПУ

- система енергопостачання (у тому числі безперебійного живлення або аварійного електропостачання);

- системи забезпечення життєдіяльності (вентиляції, кондиціонування, опалення, водопостачання, каналізації, телефонному зв'язку, пожежогашіння, охорони, аварійного освітлення і т. ін.);

- ЛЮМ;

- комунікаційне обладнання (обладнання для забезпечення зв'язку з РПРМ і офісом служби радіомоніторингу);

- комплект оргтехніки (принтер, факс, сканер тощо).

Залежно від структури АСРМ і покладених на неї завдань у складі ЦПУ АСРМ може крім обов'язкових бути розгорнуто:

- АРМ системи супутникового радіомоніторингу;

- АРМ системи КВ радіомоніторингу;

- АРМ Центру обробки даних;

- АРМ обробки результатів виконання робіт мобільними (рухомими) засобами і контролю місцезнаходження МСРМ.

9.7.4. Призначення технічних засобів і обладнання СРЧМ

9.7.4.1. Загальні положення

Відповідно до завдань, покладених на службу радіомоніторингу, основне призначення засобів радіомоніторингу таке:

- постійний, періодичний і/або вибірковий моніторинг спектра в заданих смугах частот;

- виявлення та аналіз нових радіовипромінювань;

- оцінювання технічних параметрів і визначення характеристик радіовипромінювань;

- пеленгування й визначення місцезнаходження ДРВ.

За обсягом та змістом виконуваних операцій функції засобів радіомоніторингу можна поділити на дві основні групи:

- до першої належать універсальні функції, виконання яких можливе лише у складі сучасних СРЧМ;

- до другої належать додаткові функції, що вимагають застосування спеціалізованих засобів.

До універсальних функцій можна віднести:

- панорамний спектральний аналіз радіовипромінювань у заданих смугах частот (радіочастотних каналах) у реальному масштабі часу;

- швидкий пошук «нових» радіовипромінювань;

- інструментальне оцінювання основних параметрів радіовипромінювань, їх ідентифікація, перевірка відповідності значень їхніх параметрів вимогам нормативних документів і перевірка легітимності роботи РЕЗ;

- реєстрацію результатів і ведення БД радіообстановки;

- технічний аналіз радіосигналів.

Додаткові функції включають у себе:

- вимірювання напруженості поля електромагнітного випромінювання (густини потоку потужності);

- пеленгування радіовипромінювань;

- визначення місцезнаходження (географічних координат) ДРВ;

- вимірювання додаткових параметрів радіовипромінювань.

9.7.4.2. Класифікація засобів радіомоніторингу

До найпоширеніших характерних ознак класифікації технічних засобів радіомоніторингу можна віднести [9; 120]:

- розміри зони радіодоступності;
- функціональне призначення;
- характер використання;
- продуктивність устаткування;
- особливості конструктивного виконання.

За *першою ознакою* засоби радіомоніторингу поділяються на такі групи:

- ті, що використовуються на місцевості (із розмірами зон до кількох десятків кілометрів);
- застосовувані для розв'язування завдань у межах приміщення;
- ті, що використовуються для проведення спеціальних досліджень електромагнітних випромінювань.

За *функціональним призначенням* бувають такі засоби радіомоніторингу:

- універсальні;
- ті, що використовуються для розв'язання додаткових завдань на місцевості;
- ті, що використовуються для розв'язання завдань у межах приміщень.

За *характером використання* технічні засоби можна поділити на такі категорії:

- засоби стаціонарного розташування (стаціонарні та транспортвані станції, комплекси);
- засоби, розташовані здебільшого на транспортних засобах;
- переносні (портативні) засоби.

Найпоширенішою характеристикою *продуктивності* засобів радіомоніторингу є швидкість панорамного спектрального аналізу (огляду) із заданою розрізнявальною здатністю та динамічним діапазоном за рівнем. За цим критерієм засоби радіомоніторингу поділяються на такі групи:

- низькопродуктивні — зі швидкістю панорамного огляду від 10 до 100 МГц/с;
- середньої продуктивності — зі швидкістю огляду від 100 до 1000 МГц/с;
- високопродуктивні — зі швидкістю огляду від 1 до 10 ГГц/с;
- надвисокої продуктивності — зі швидкістю огляду близько 100 ГГц/с.

Проте найчастіше використовуваною є класифікація засобів радіомоніторингу за *мобільністю та функціональністю застосування**, згідно з якою виокремлюють:

- системи радіомоніторингу;
- стаціонарні станції (комплекси) радіомоніторингу;
- мобільні станції (комплекси) радіомоніторингу;
- портативні та переносні засоби радіоконтролю.

Вочевидь, такий поділ також є досить умовним.

* Іноді за такої класифікації до окремої категорії відносять радіопеленгатори, але при цьому варто враховувати, що здебільшого радіопеленгатори поєднуються з обладнанням, яке забезпечує радіоконтроль параметрів радіовипромінювань, а також можуть монтуватися на транспортних засобах (у складі МСРМ).

9.7.4.3. Загальні вимоги до технічної оснащеності системи радіомоніторингу

Ефективність роботи всієї СРЧМ істотно визначається рівнем автоматизації процесів радіомоніторингу. Використання режимів дистанційного управління обладнанням радіомоніторингу в поєднанні з автоматизацією процесу вимірювання дозволяє продуктивніше використовувати ресурси СРЧМ і виконувати складніші функції. Поряд зі зменшенням часових витрат на виконання операцій радіомоніторингу автоматизація дозволяє скоротити кількість персоналу, необхідного для експлуатації СРМ, сприяючи залученню кваліфікованих фахівців для розв'язання більш пріоритетних завдань, зокрема для роботи на МСРМ і проведення аналізу результатів радіомоніторингу.

Основні вимоги, що висуваються до *технічних засобів радіомоніторингу*, такі:

- 1) відповідність технічного рівня та можливостей обладнання сучасно-му рівню розвитку телекомунікацій загалом та засобів зв'язку зокрема;
- 2) забезпечення розв'язання завдань моніторингу спектра та радіокон-тролю традиційних і нових радіотехнологій.

Загальні вимоги до технічних характеристик засобів радіомоніторингу наведено в [3; 5; 7; 9; 10]. Вимоги до функціональних можливостей і технічних параметрів обладнання визначаються згідно з умовою забезпечення виконання завдань, покладених на автоматизовані стаціонарні СРМ. Ці вимоги в узагальненому вигляді наведено в Рекомендаціях ІТУ-R SM.1392 і SM.1723 [52; 121].

При виборі обладнання для АСРМ кожна адміністрація зв'язку повинна також враховувати:

- свої фінансові можливості;
- заплановану структуру (розміри) СРЧМ;
- наявність вітчизняних виробників обладнання;
- відповідність обраного обладнання заданим вимогам тощо.

Але в будь-якому разі цей вибір має відповідати таким основним критеріям.

1. Побудова АСРМ ґрунтується на використанні функціонально закінчених АПК, здатних забезпечувати виконання заданого обсягу завдань. Нині коло виробників таких засобів доволі обмежене. Проте основним недоліком систем іноземного виробництва є саме їхня закінченість, що виявляється в жорсткості закладених базових можливостей, найчастіше не адаптованих до нашого національного законодавства та нормативних вимог. До того ж існують труднощі мовної адаптації вихідних інтерфейсів і їх оперативного коригування в разі зміни законодавства. Що ж до змін програмного забезпечення, то вони вимагають значних фінансових і часових витрат.

2. Обмежені фінансові можливості більшості країн щодо розгортання повноцінних СРЧМ зумовлюють неминучість поетапної побудови системи з поступовим нарощуванням кількості елементів. Це вимагає використання ієрархічної структури СРЧМ за наявності достатнього асортименту засобів для кожного рівня.

3. Наявність обладнання різних виробників диктує необхідність забезпечення їх інтеграції в новостворювану систему, що, у свою чергу, вимагає впровадження більш «гнучких» СРЧМ.

9.7.4.4. Класифікація станцій радіомоніторингу

Відповідно до класифікації, наведеної в [3], СРМ за діапазонами частот і функціональним призначенням поділяються на шість типів:

1) *базова* СРМ — радіопеленгаторна станція, що працює у смузі частот від 20 до 1350 МГц (або до 3 ГГц);

2) *стандартна* СРМ — станція, що працює у смузі частот від 20 до 1350 МГц (або до 3 ГГц), до складу якої входять один радіопеленгатор і один вимірювальний РПП;

3) *багатоканална* СРМ — станція, що працює у смузі частот від 20 до 1350 МГц (або до 3 ГГц) і оснащена одним радіопеленгатором та вимірювальними РПП у кількості від одного до чотирьох;

4) *рухома (мобільна)* СРМ — радіопеленгаторна станція, що працює у смузі частот від 20 МГц до 1 ГГц і розміщена на автотранспортному засобі, функціональні можливості якої аналогічні можливостям базової СРМ;

5) *портативна* СРМ — радіопеленгаторна станція для смуги частот від 20 МГц до 1 ГГц, обладнання якої міститься у спеціальному корпусі, а функціональні можливості аналогічні можливостям базової СРМ;

6) *переносна* СРМ — станція, що працює у смузі частот від 20 МГц до 1 ГГц, до складу якої входить один радіопеленгатор і один вимірювальний РПП.

Проте ця класифікація, на наш погляд, уже застаріла. Останнє пояснюється тим, що нині «стандартну» смугу робочих частот у більшості сучасних СРМ розширено до 6 ГГц, а багато рухомих станцій виконують спеціалізовані завдання і не вписуються в наведену класифікацію.

Як уже зазначалося, основним джерелом інформації та ключовою складовою будь-якої СРЧМ є стаціонарні СРМ, призначені для забезпечення проведення постійного цілодобового моніторингу спектра, контролю параметрів радіовипромінювань і/або радіопеленгування випромінювань.

За функціональним призначенням стаціонарні СРМ поділяються на такі види:

- радіопеленгатори;
- станції виявлення та технічного радіоконтролю;
- СРМ загального призначення.

Радіопеленгатором називається комплект обладнання, призначений для визначення напрямку (пеленгу) на джерело випромінювання електромагнітних коливань [8; 10; 11].

Станції виявлення та технічного радіоконтролю призначено для розв'язання завдань із виявлення та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання, а також оцінювання зайнятості смуг частот. Зазвичай такі СРМ працюють у режимах дистанційного управління з ПУ РПРМ і можуть розміщуватися:

- у великих містах із високою щільністю розподілу РЕЗ для перекривання «провалів» у зонах радіодоступності стаціонарного компонента АСРМ;
- у середніх (за кількістю населення і РЕЗ) містах із населенням від 50 до 150 тис. для створення суцільних зон радіодоступності;
- у невеликих населених пунктах, де розташовано об'єкти, що мають важливе державне значення — залізничних вузлах, портових містах, а також неподалік від атомних електростанцій, аеропортів тощо.

В останніх двох випадках СРМ призначено для здійснення спостереження за станом електромагнітної обстановки (ЕМО) та радіоконтролю параметрів радіовипромінювань. При цьому СРМ відіграють роль сигналізаторів, що фіксують відхилення ЕМО від еталонної (останнім часом дедалі більшої популярності набувають деякі різновиди таких станцій — радіочастотні сенсорисигналізатори, такі як UMS100(UMS120), Agilent N8641, RFeye Node).

Стационарні СРМ загального призначення являють собою повнофункціональні станції і можуть містити у своєму складі радіопеленгатори та обладнання для виявлення і вимірювання параметрів радіовипромінювань.

З урахуванням вимог щодо автоматизації функціонування СРЧМ, потреб підвищення продуктивності та зменшення витрат (як часу, так і коштів) відповідно до [3] усі типи стаціонарних СРМ мають бути повністю автоматизовані й здатні працювати у двох режимах:

- у режимі on-line (під управлінням оператора);
- у режимі дистанційного управління (у «пакетному» режимі), коли СРМ виконує поставлені (планові) завдання автоматизовано.

Таким чином, стаціонарні СРМ можна поділити на обслуговувані та необслуговувані. До першої категорії належать СРМ, розташовані на РКП, де постійно (або принаймні протягом робочого дня) присутній обслуговувальний персонал, який здійснює управління СРМ у режимі on-line. Що ж до необслуговуваних СРМ, то вони працюють лише в режимі дистанційного управління.

Незважаючи на велику увагу, яка приділяється стаціонарним засобам, на практиці основне навантаження з виконання завдань радіомоніторингу покладається на рухомі (мобільні) станції. Рухомі станції являють собою гнучкий засіб забезпечення контролю за використанням РЧР у місцях, де вимірювання за допомогою стаціонарних засобів неможливе, а саме: поза зоною їхньої радіодосяжності, поблизу передавачів, які характеризуються, наприклад, низьким рівнем потужності, високою робочою частотою, вузькими діаграмами спрямованості антенних систем і т. ін.

Гнучкість мобільних засобів щодо вимірювань визначається:

- типом транспортного засобу;
- конкретним вимірювальним і додатковим обладнанням, розташованим на борту транспортного засобу.

Окрім того, системи радіомоніторингу, в яких основну ставку зроблено на стаціонарні СРМ, зазвичай не розраховані на забезпечення покриття всієї території країни, а їхня топологія визначається передусім з урахуванням щільності розташування РЕЗ (у великих містах — промислових центрах або зонах із високим рівнем щільності РЕЗ). У сучасних комп'ютеризованих СРЧМ мобільні станції можуть бути інтегровані в них як додаткові СРМ із метою тимчасового розширення зони радіодоступності РППМ. Завдяки цьому СРЧМ отримує унікальну можливість розширити зону радіодоступності стаціонарного компонента, використовуючи мобільні станції, оснащені системами радіопеленгування, для уточнення координат ДРВ, а МСРМ — для виконання оперативних завдань із радіоконтролю та автоматичного використання даних обліку РЕЗ, які зберігаються у БД частотоприсвоєнь.

Таким чином, мобільні засоби може бути включено до національної СРЧМ на двох рівнях:

- по-перше, їх приєднанням до ПУ РППМ на правах рухомих СРМ;

- по-друге, у режимі автономної роботи.

З урахуванням розмаїття типів мобільних станцій найбільш доцільно поділити їх за функціональним призначенням на такі категорії:

- мобільні станції загального призначення;
- спеціалізовані рухомі станції технічного радіоконтролю (ССТК);
- спеціалізовані мобільні станції радіоконтролю мереж стільникового зв'язку і широкосмугового радіодоступу (ШРД), у тому числі мереж цифрового телевізійного та звукового мовлення.

Транспортовані СРМ (СРМ, що транспортуються) є різновидом стаціонарних станцій у виконанні, яке забезпечує їх оперативне розгортання та згортання, не потребуючи проведення трудомістких робіт із підготовки спеціальних майданчиків та приміщень для розташування обладнання та антенних систем. Такі СРМ призначено для проведення радіомоніторингу на невеликих територіях протягом невеликих (від кількох годин до кількох тижнів) інтервалів часу. Як правило, відмітною особливістю транспортованих станцій є їхня здатність працювати в автоматизованому (автоматичному) режимі.

9.7.4.5. Вимоги до функціональних і технічних характеристик станцій радіомоніторингу

Одним з основних параметрів будь-якого засобу радіомоніторингу є смуга робочих частот*. На жаль, у міжнародних документах недостатньо прописано вимоги до функціональних можливостей і технічних параметрів СРМ. Чи не єдиним документом із цього питання є використовуваний у Російській Федерації керівний документ РД-45 [122].

З огляду на те, що основу будь-якого засобу радіомоніторингу складають РПП, то ефективність цього засобу визначається передусім функціональними можливостями й технічними параметрами РПП. До основних параметрів РПП поряд зі смугою робочих частот належать:

- швидкість панорамного спектрального огляду (аналізу);
- чутливість;
- динамічний діапазон з інтермодуляцією 3-го та 2-го порядку;
- розрізнення за частотою;
- смуга частот одночасного огляду;
- рівень подавлення сигналів, прийнятих по паразитних каналах;
- стабільність частоти опорного гетеродина.

Узагальнені вимоги до типових технічних параметрів і характеристик РПП СРМ, регламентовані рекомендаціями МСЕ, наведено в табл. 9.13 [3].

Обсяг і зміст вимог, що висуваються до функціональності СРМ, істотно залежать від їхнього цільового призначення. На першочергову увагу заслуговують такі СРМ.

1. Стаціонарні ДВЧ/УВЧ радіопеленгатори, призначені для розв'язання завдань пеленгування ДРВ у синхронній пеленгаторній мережі. До їхніх технічних характеристик висуваються такі вимоги [3; 7; 9]:

* Тут автори навмисне відійшли від акцентування уваги на «смузі робочих частот РПП». Це пояснюється тим, що верхня межа смуги робочих частот абсолютної більшості РПП (за винятком РПП для КХ діапазону) становить 1,3 або 3 ГГц. Питання розширення смуги робочих частот «угору» традиційно розв'язується за рахунок використання додаткового обладнання (конвертерів).

- смуга частот пеленгування — від 30 МГц до 1 ГГц;
- інструментальна похибка пеленгування — не більш як 2° (за відношення сигнал/шум не менш як 20 дБ);
- чутливість — не менш як (2,5 ... 6) мкВ/м (залежно від кількості пеленгів, застосовуваних для усереднення);
- мінімальна тривалість сигналів — не менш як 10 мс;
- зона пеленгування в азимутальній площині — від 0 до 360°;
- зона пеленгування в кутомісній площині — до 90°.

Класифікацію радіопеленгаторів за типом використовуваних антенних систем і принципами пеленгування наведено в [7; 9; 10].

2. Стаціонарні станції виявлення та технічного радіоконтролю ДВЧ/УВЧ діапазону, на які покладено виконання таких завдань:

- 1) виявлення радіовипромінювань у смузі робочих частот;
- 2) інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювання (частоти, ширини смуги частот, рівня сигналу (або напруженості поля випромінювання), девіації частоти ЧМ коливань, тривалості сигналу тощо);
- 3) оцінювання зайнятості РЧС (частоти, смуги частот, радіочастотних каналів);
- 4) ідентифікація радіовипромінювань і РЕЗ;
- 5) упізнання позивних радіостанцій;
- 6) перевірка відповідності значень вимірюваних параметрів радіовипромінювань вимогам дозвільних і/або нормативних документів.

До технічних характеристик стаціонарних станцій виявлення та технічного радіоконтролю висуваються такі вимоги:

- смуга робочих частот — від 30 МГц до 3 ГГц (у сучасних СРМ верхню межу підвищено до 6 ГГц);
- чутливість — не нижча за 0 дБмкВ/м (1 мкВ/м);
- динамічний діапазон — не менш як 75 дБ;
- максимальна швидкість панорамного аналізу — не менш як 300 МГц/с (змінюється залежно від розрізняювальної здатності за частотою);
- смуга частот сканування — змінювана від 20 кГц до 100 МГц;
- інструментальна похибка вимірювання рівня напруженості поля — не більш як 3 дБ;
- відносна точність вимірювання частоти — не менш як 10⁻⁶.

3. Стаціонарні СРМ загального призначення як основна складова стаціонарного компонента СРЧМ виконують такі завдання:

- 1) виявлення та інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювань у смузі робочих частот;
- 2) оцінювання зайнятості РЧС;
- 3) пеленгування ДРВ у синхронній пеленгаторній мережі;
- 4) ідентифікацію радіовипромінювань і РЕЗ;
- 5) упізнання позивних радіостанцій;
- 6) автоматичну перевірку значень виміряних параметрів і легітимності роботи РЕЗ.

Технічні характеристики цього класу СРМ мають задовольняти всі вимоги, що висуваються як до СРМ виявлення й технічного радіоконтролю, так і до радіопеленгаторів, окрім двох, а саме:

- смуга частот виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювань зазвичай обмежена зверху значенням 3 ГГц;
- смуга частот пеленгування — від 30 МГц до 1 ГГц.

Докладнішу інформацію про функціональні можливості й технічні характеристики деяких найпоширеніших стаціонарних СРМ відомих виробників наведено в [7; 9; 10; 15; 120].

4. Мобільні станції радіомоніторингу загального призначення, що є, по суті, невеликими стаціонарними СРМ ДВЧ/УВЧ діапазону «на колесах». Вони забезпечують розв'язання завдань радіомоніторингу під час руху і під час зупинки транспортного засобу (ТЗ) поза межами зон радіодоступності стаціонарних СРМ, у місцях, де проведення радіомоніторингу стаціонарними засобами неможливе. Ці станції використовують також для уточнення результатів радіоконтролю, отриманих за допомогою стаціонарних засобів, а саме з метою:

1) проведення радіоконтролю (пошуку, виявлення радіовипромінювань та інструментального оцінювання їхніх параметрів, зокрема пошуку джерел радіозавад) у смузі робочих частот;

2) проведення моніторингу спектра (оцінювання зайнятості) у смузі робочих частот;

3) ідентифікації радіовипромінювань і РЕЗ;

4) пеленгування ДРВ під час роботи в ролі мобільного радіопеленгатора в синхронній пеленгаторній мережі;

5) визначення місцезнаходження (географічних координат) ДРВ під час роботи в автономному режимі;

6) упізнання позивних радіостанцій;

7) автоматичної перевірки значень вимірюваних параметрів і легітимності роботи РЕЗ;

8) вимірювання напруженості поля та оцінювання зон радіопокриття вздовж маршруту руху ТЗ;

9) передавання даних результатів радіомоніторингу на ПУ РПРМ.

Незважаючи на те, що МСРМ загального призначення здатні працювати у складі єдиної мережі АСРМ, усе ж основним режимом їхньої роботи залишається автономний режим.

У спрощеному варіанті цього класу станцій може не бути радіопеленгатора.

5. Спеціалізовані рухомі станції технічного радіоконтролю (ССТК), призначені для розв'язання завдань із пошуку джерел радіозавад і виконання вимірювань (інструментального оцінювання) параметрів радіовипромінювань переважно у смугах частот понад 3 ГГц. Ці станції, що, по суті, являють собою рухомі лабораторії, мають такі характерні особливості:

● використання як вимірювальних пристроїв аналізаторів спектра, які й визначають смугу робочих частот станції, аналізаторів сигналів і спрямованих вимірювальних (каліброваних) антен;

● відсутність класичних пеленгаторів;

● наявність, у більшості випадків, висувної щогли;

● виконання робіт лише під час зупинок ТЗ.

6. Спеціалізовані рухомі станції, які забезпечують радіоконтроль мереж стільникового зв'язку, ШРД, цифрового телевізійного та звукового мовлення як під час руху, так і під час зупинки ТЗ. Вони оснащуються спеціалізованим обладнанням, смуги робочих частот і функціональні можливості якого визначаються контрольованою радіотехнологією.

Окрім вимірювання параметрів радіовипромінювань до основних завдань цієї категорії мобільних станцій також належить оцінювання зон радіопокриття передавачів і показників якості послуг мереж зв'язку. В останньому випадку завдання розв'язується виконанням «контрольних викликів» із тестового обладнання для певних маршрутів з'єднань. Для отримання об'єктивних оцінок якості послуг вимірювання проводяться в періоди підвищеного (найбільшого) навантаження і пов'язані зі значними витратами часу. Вимірювання можуть проводитися в одному з двох режимів роботи: безперервному, коли ТЗ із тестовим обладнанням постійно переміщується за маршрутом зі швидкістю не більш як 60 км/год і у процесі руху виконує вимірювання, або в періодичному, коли збирання даних здійснюється у фіксованих пунктах.

7. Станіонарні станції радіомоніторингу у КХ діапазоні, функціональні й технічні можливості яких мають відповідати таким вимогам:

- панорамний просторовий огляд у смузі частот від 1,5 до 30 МГц зі швидкістю до 200 МГц/с;

- приймання та пеленгування випромінювань із вертикальною та круговою поляризацією (із кутом «підняття» променя не менш як 60°);

- автоматичне виявлення та пеленгування в робочій смузі частот радіовипромінювань сучасних засобів зв'язку;

- розрахунок координат місцезнаходження ДРВ з одного пункту (із використанням однієї СРМ) методом SSL (*Single Site Location*);

- реєстрація прийнятих та оброблених сигналів у цифровому вигляді;

- слуховий та візуальний контроль сигналів;

- командно-виконавче пеленгування в мережі синхронного пеленгування;

- оброблення, нагромадження та зберігання результатів.

Технічні параметри стаціонарних СРМ КХ діапазону мають задовольняти такі вимоги:

- виявлення сигналів тривалістю не менш як 3 мс;

- інструментальна помилка пеленгування — не більш як 1,5°;

- чутливість за полем — не менш як 5 мкВ/м;

- смуга частот одноразового огляду — не менш як 400 кГц;

- динамічний діапазон прийнятих сигналів за рівнем — не менш як 120 дБ;

- час перебудови частот РПП — не більш як 1 мс;

- мінімальний крок перебудови за частотою — 1 Гц.

8. Станіонарні станції радіомоніторингу мереж супутникового зв'язку становлять окремий клас станцій радіоконтролю. Вони мають розв'язувати специфічні завдання щодо моніторингу й радіоконтролю випромінювань транспондерів супутникових станцій та проведення, в окремих випадках, геолокації — визначення місцезнаходження (географічних координат) — земних станцій супутникового зв'язку (ЗССЗ).

Залежно від розв'язуваних завдань такі станції, використовуючи відповідні антенні системи й комплекти обладнання, можуть працювати в різних діапазонах частот — С, Ку, Ка, Х. Але перевага, безумовно, надається С, Ку і Ка діапазонам частот.

Здебільшого на станції супутникового моніторингу покладають розв'язання завдань, які передбачають:

- автоматичний контроль радіовипромінювань у каналах супутникового зв'язку на лінії «вниз», зокрема якості переданої інформації;
- перевірку відповідності параметрів випромінювань транспондерів супутникових станцій умовам виданих дозволів;
- виявлення порушень у сфері використання РЧР, виділеного для операторів мереж супутникового зв'язку, а також операторів, що діють незаконно;
- виявлення та усунення випадків радіозавад у каналах транспондерів супутникових станцій (на лініях «униз»).

Згідно з функціональним призначенням стаціонарних станцій моніторингу мереж супутникового зв'язку вони мають задовольняти такі технічні вимоги:

- 1) забезпечувати радіомоніторинг у С та Ку діапазонах частот;
- 2) мати приймальні антени з шириною головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС) до $0,5^\circ$;
- 3) за умови розташування станцій у більшості країн Європи забезпечувати зміну азимутального положення головної пелюстки ДС антени для значень азимута від 130 до 230° ;
- 4) забезпечувати зміну кутимірного положення (елевацію) головної пелюстки ДС антени в діапазоні кутів від 6° (під азимутом 136 і 225°) до 40° (під азимутом 180°).

Геолокація (визначення місцезнаходження) ЗССЗ реалізується непрямыми методами. Принцип геолокації ЗССЗ (рис. 9.25) ґрунтується на проведенні кореляційного аналізу та вимірюванні часу затримки сигналів, які випромінюються однією і тією самою ЗССЗ (але ретранслюються різними супутниковими станціями) і приймаються двома рознесеними антенами станції.

Використовуючи виміряні значення часу затримки t_{z1} і t_{z2} сигналів на трасах поширення від ЗССЗ до станції супутникового моніторингу, роз-

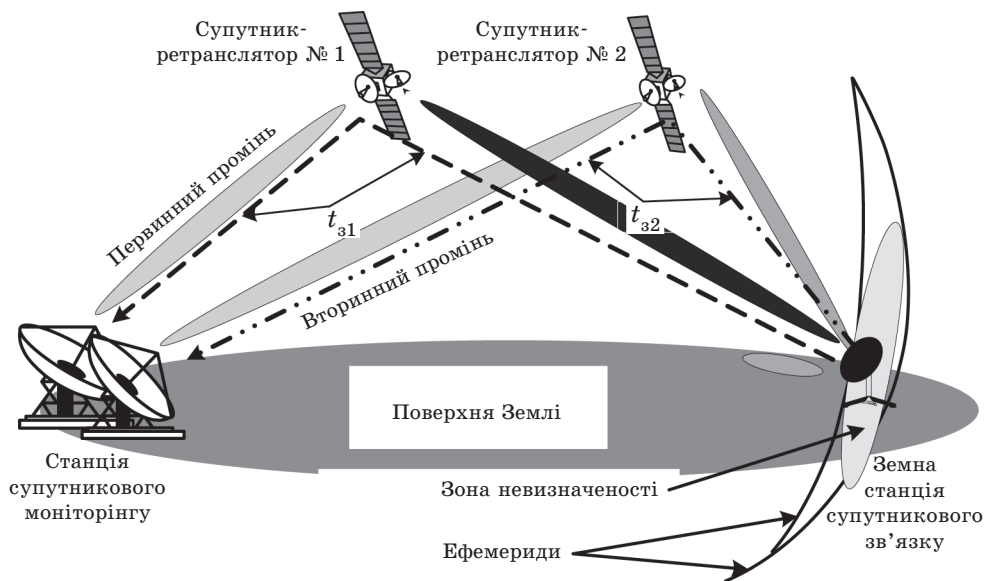


Рис. 9.25. Принцип геолокації ЗССЗ

раховують зону можливого перебування аналізованої ЗССЗ як область, обмежену двома умовними кривими (так званими *ефемеридами*), що відповідають вимірним значенням t_{z1} і t_{z2} . Таким чином, необхідною умовою розв'язання завдань геолокації є наявність у складі станції супутникового моніторингу принаймні двох приймальних антен.

На відміну від організації пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ у ДВЧ/УВЧ діапазонах, що відбувається за допомогою синхронного пеленгування, забезпечення високої точності визначення місцезнаходження ЗССС вимагає проведення багаторазових (тривалістю до кількох годин) вимірювань. Потенційно досяжна точність може становити від кількох сотень метрів до десяти кілометрів. Підвищення точності оцінювання місцезнаходження ЗССЗ забезпечується калібруванням системи геолокації за рахунок проведення періодичних вимірювань часу затримки сигналів ЗССЗ з відомими географічними координатами (*reference station*) (рис. 9.26).

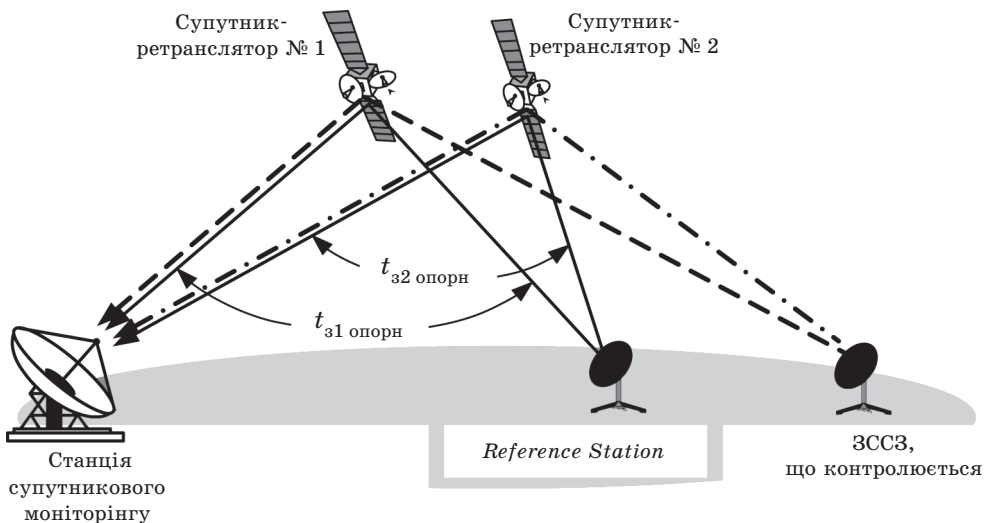


Рис. 9.26. Принцип калібрування системи геолокації ЗССЗ

9.7.5. Структура станцій радіомоніторингу

9.7.5.1. Вимоги до структури стаціонарних СРМ

Незважаючи на доволі велике розмаїття типів СРМ, їхня структура здебільшого є типовою. Наведену в [3; 10] узагальнену структуру стаціонарної СРМ ВЧ/ДВЧ/УВЧ діапазонів, яка визначає мінімальний комплект обладнання, потрібного для проведення радіомоніторингу, подано на рис. 9.27. Зауважимо, що у класичному варіанті рекомендовано застосовувати багатоканальний РПП. Проте на практиці в більшості необслуговуваних (дистанційно керованих) СРМ використовується не більш як два РПП: вимірювальний РПП у каналі виявлення та технічного аналізу і пеленгаторний РПП — у каналі пеленгування.

Це пояснюється тим, що, незважаючи на паралельне виконання кількох завдань, на практиці зазвичай здійснюється швидка комутація антенних входів каналу виявлення та розпаралелення операцій на рівні програмної

обробки. У каналі пеленгування проводиться послідовне опитування антенних елементів за допомогою високочастотного антенного комутатора з подальшим обробленням в одноканальному РПП. При цьому в каналі пеленгування, як правило, використовується кілька антен, кожен з яких призначено для роботи в досить вузькій смузі частот.

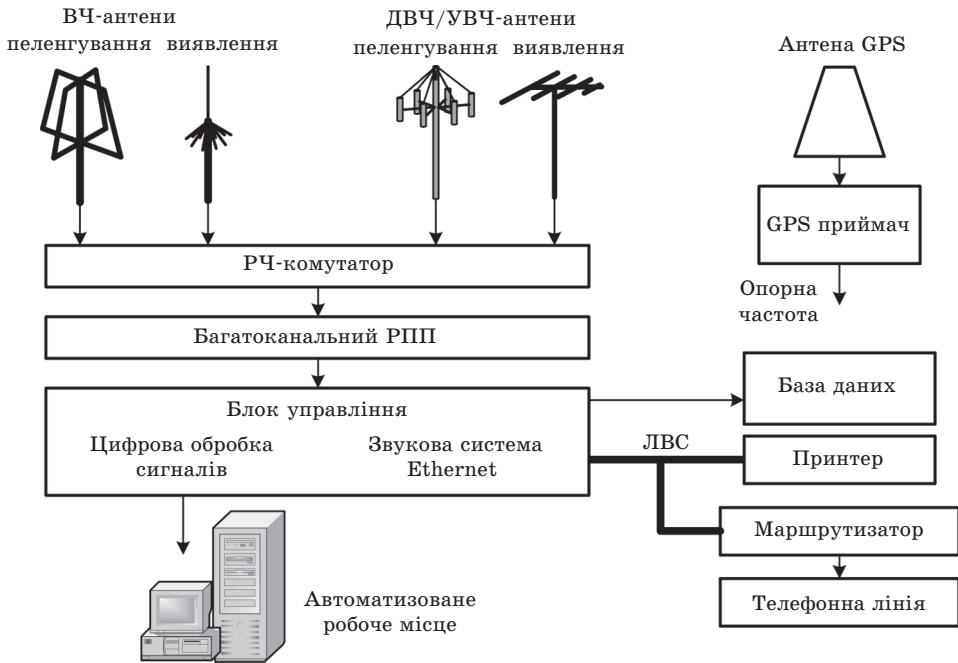


Рис. 9.27. Узагальнена структура стаціонарної СРМ [3]

Для зменшення розмірів пеленгаторних антен у разі заданої точності пеленгування в радіопеленгаторах ДВЧ/УВЧ діапазону використовуються квазідоплерівські (інтерферометричні) методи пеленгування. Принцип квазідоплерівського методу пеленгування унаочнює рис. 9.28.

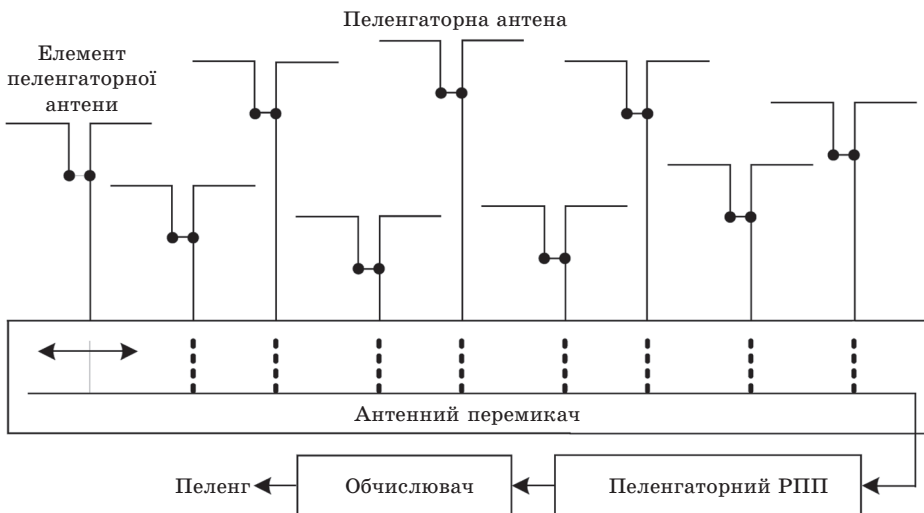


Рис. 9.28. Принцип квазі(псевдо)доплерівського методу пеленгування

Утім, конструктивна побудова сучасних пеленгаторів не обмежується використанням тільки фазових методів пеленгування. Альтернативні підходи базуються на застосуванні багатоканальних методів із використанням секторних антен і обробленням сигналів багатоканальних РПП (або кількох РПП) (рис. 9.29).

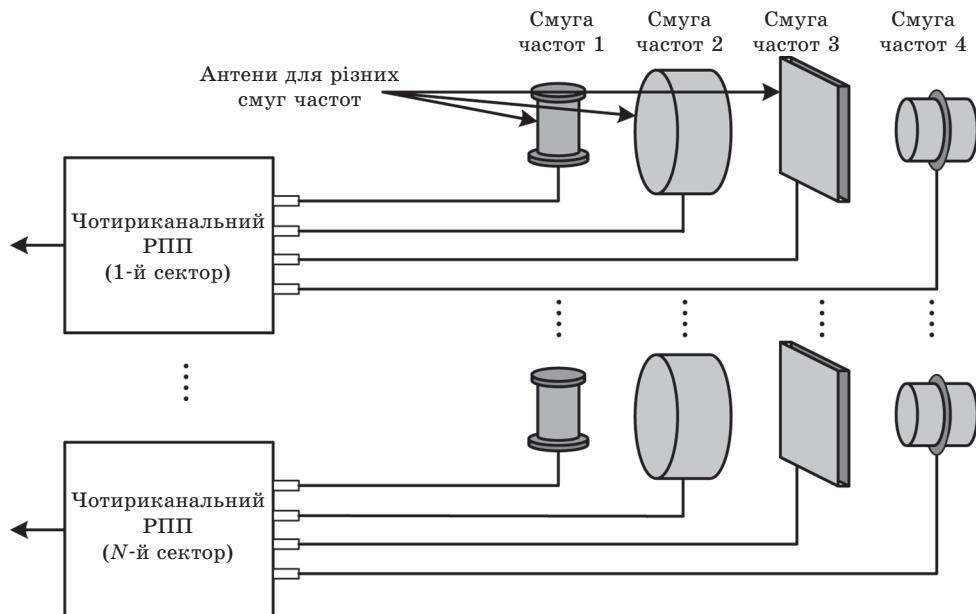


Рис. 9.29. Принцип побудови багатоканального радіопеленгатора

Докладніше принципи пеленгування, використовувані в сучасних радіопеленгаторах і найпоширеніші варіанти структурних схем радіопеленгаторів розглянуто в [3; 5; 7; 9; 10; 16; 120].

9.7.5.2. Загальні підходи до структури та конструкції мобільних (рухомих) станцій радіомоніторингу

Загальну концепцію побудови МСРМ наведено в [121].

Двома основними критеріями, які враховуються при виборі МРСМ, є зона дії та зміст функціональних можливостей.

Перший критерій дозволяє визначити тип ТЗ, здатного забезпечити найкраще виконання завдань у заданих умовах: зона і доступність типового місця роботи (міська, приміська, сільська або гірська місцевість).

Другий критерій визначає вимоги до об'єму кузова, його статичної стійкості на стоянці ТЗ і динамічної стійкості під час руху, зокрема й при виконанні робіт.

Через особливості застосування мобільних станцій, зумовлені їхньою рухливістю, до оснащення засобів радіомоніторингу цієї категорії висуваються такі загальні вимоги:

- наявність приймача GPS, що забезпечує прив'язування географічних координат місця, де розташовується МСРМ, і контрольованого РЕЗ, а також наявність опорного сигналу (частотою 10 МГц) і часова синхронізація;
- оснащеність мобільного засобу електронним компасом для отримання еталонного напрямку на північ;

- забезпечення електроживлення апаратури та обладнання від бортової мережі і/або від зовнішнього генератора (наявність оберненого перетворювача в першому випадку і перемикача джерела живлення змінного струму та розподільного щита у другому);

- наявність антен, які відповідають контрольованим діапазнам (смугам) частот і функціям;

- наявність робочого місця оператора радіоконтролю, оснащеного ПЕОМ типу Notebook, клавіатурою, кульовим маніпулятором (принтером, якщо буде потреба);

- оснащення засобами безпроводового радіозв'язку (стільникового або супутникового) для забезпечення передавання даних і безпосереднього зв'язку з ПУ РПРМ.

9.7.5.3. Узагальнена структура МСРМ загального призначення

Відмітною особливістю МСРМ загального призначення є їх конструктивне виконання — пеленгаторні й вимірювальні антени монтуються в радіопрозорому пеналі на даху ТЗ. Апаратна частина являє собою комплект спеціалізованого обладнання на базі РПП, керованого з АРМ. В окремих випадках МСРМ можуть додатково оснащуватися портативним обладнанням для виконання спеціальних вимірювань у місцях, де їх проведення іншими засобами неможливе (у приміщеннях, на дахах будинків, на закритих територіях тощо).

Для МСРМ загального призначення рекомендуються ТЗ типу автомобіля з кузовом «універсал», «кросовер», «мінівен» або «фургон» на базі мікроавтобуса. Цей вид ТЗ зручний для проведення вимірювань в умовах міста та міської зони. Об'єм кузова всередині ТЗ обмежений для розміщення засобів і обладнання, тому не забезпечує всіх можливостей, притаманних більшим ТЗ.

Автомобіль з кузовом типу «універсал-позашляховик», додатково оснащений приводом на чотири колеса, найбільш підходить для виконання завдань на пересіченій місцевості.

За змістом виконуваних завдань МСРМ загального призначення належать до категорії рухомих засобів, застосовуваних для забезпечення контролю наявності та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювань в умовах реальної ЕМО, а також для виконання інших допоміжних завдань. Узагальнену структурну схему комплексної МСРМ загального призначення, в якій використовується аналоговий РПП, наведено на рис. 9.30.

До складу комплексної МСРМ загального призначення, як правило, входять такі елементи:

- радіоприймальний пристрій і АЦП каналу пеленгування;
- радіоприймальний пристрій і АЦП каналу виявлення;
- пеленгаторна антена для смуги частот 25 МГц...1 ГГц;
- пеленгаторна антена для смуги частот 1 ГГц...3(2,6) ГГц;
- антена виявлення та вимірювання для смуги частот 25 МГц...1 ГГц;
- антена виявлення та вимірювання для смуги частот 0,8 ГГц...3 ГГц;
- антена та приймач GPS;
- антена та модем GSM;
- генератор опорної частоти (ГОЧ);
- АРМ оператора радіоконтролю на базі ПЕОМ Notebook.

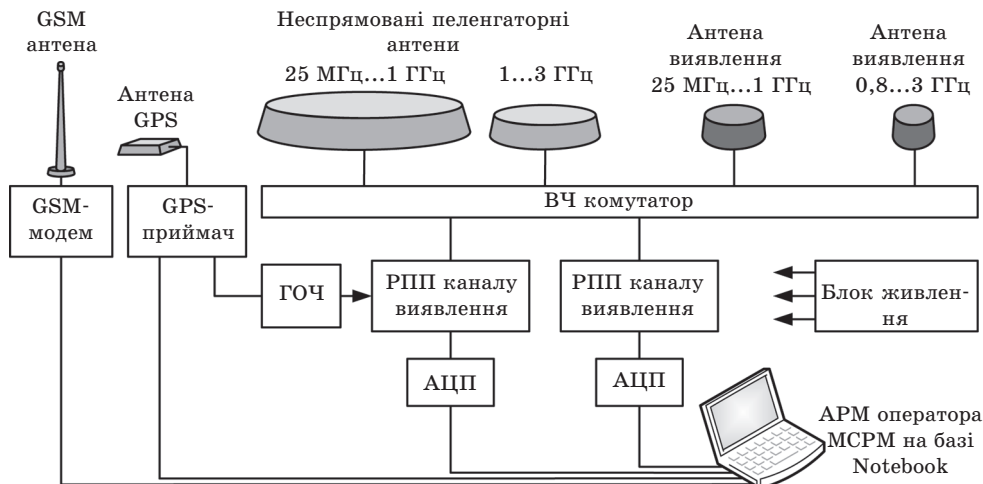


Рис. 9.30. Узагальнена структурна схема комплексної МСРМ загального призначення на базі аналогового РПП

Використання двох РПП дозволяє здійснювати одночасно пеленгування та виявлення (вимірювання параметрів) радіовипромінювань у різних діапазонах частот (на різних частотах). У разі застосування одного РПП пеленгування та виявлення забезпечуються за рахунок розподілу цих дій у часі. ВЧ комутатор забезпечує комутацію антен до входу відповідного РПП. ГОЧ підтримує необхідну стабільність частоти РПП (у разі використання цифрового РПП необхідність у ГОЧ та АЦП відпадає). Система GSM зв'язку на базі стандарту GPRS забезпечує телефонний зв'язок і канал обміну даними між ПУ РПРМ і МСРМ (передавання команд управління на МСРМ і результатів радіоконтролю на ПУ).

9.7.5.4. Узагальнена структура мобільних станцій моніторингу мереж радіотехнологій загального користування

Варіант структурної схеми спеціалізованої мобільної станції радіоконтролю мереж загального користування (GSM900, GSM1800, CDMA450, CDMA800, UMTS/W-CDMA, T-DAB і DVB-T) наведено на рис. 9.31.

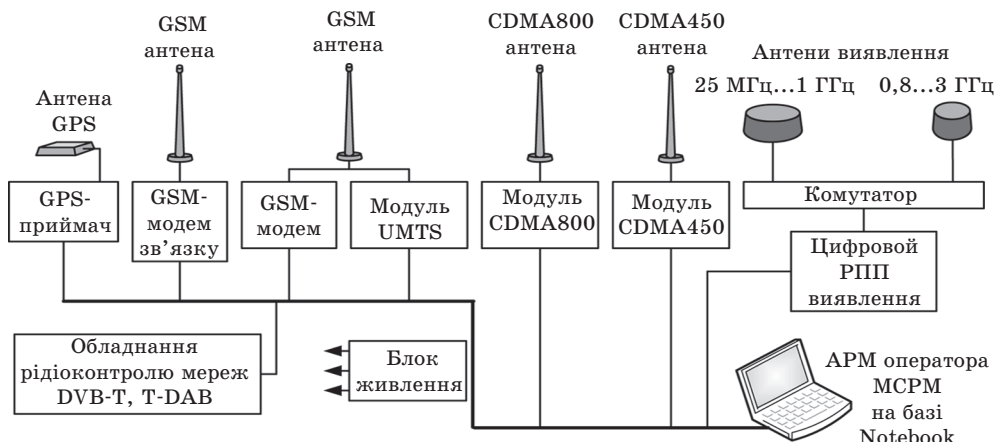


Рис. 9.31. Узагальнена структурна схема мобільної станції моніторингу мереж радіотехнологій загального користування

Особливістю конструкції цього класу мобільних станцій є їхня модульна структура. В узагальненому вигляді для радіоконтролю кожної з радіотехнологій використовуються окремі модулі. Цифровий РПП забезпечує панорамний огляд, аналіз і реєстрацію спектра радіовипромінювання.

9.7.5.5. Загальні вимоги до конструкції ССТК

За своєю суттю ССТК є рухомими вимірювальними лабораторіями, призначеними для розв'язання широкого кола завдань із виявлення та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання. ССТК мають бути оснащени:

- вимірювальними приладами (зазвичай аналізаторами спектра та аналізаторами сигналів) із верхньою межею робочої смуги частот до 26 або до 40 ГГц;

Таблиця 9.13

Типові технічні параметри та характеристики РПП,
рекомендовані МСЕ

Найменування параметра, характеристики	Значення параметра, тип характеристики для діапазону частот	
	НЧ/СЧ/ВЧ	ДВЧ/УВЧ
Смуга частот	Від 9 кГц до 30 МГц	Від 20 МГц до 3 ГГц
Крок перестроювання за частотою, Гц, не більш як	1	10
Відносна похибка настроювання, не більш як	10^{-6}	10^{-7} із використанням зовнішнього еталонного сигналу
Час настроювання синтезатора, мс, не більш як	10	5
Антенний вхід: — номінальне значення вхідного опору, Ом; — КБХ, не більш як	50 3	50 2,5
Попередня селекція	Використання субоктавних фільтрів	
Точка перетину, дБ, не менш як: — другого порядку (SOI) — третього порядку (TOI)	60 (понад 3 МГц) 20 (понад 3 МГц)	40 10
Коефіцієнт шуму, дБ, не більш як	15 (понад 2 МГц)	12
Фазовий шум гетеродина, дБп/Гц, не більш як	Мінус 120 (при розстроюванні на 10 кГц)	Мінус 120 (при розстроюванні на 10 кГц)
Подавлення радіозавад за ПЧ, дБ, не більш як	80	
Подавлення радіозавад за дзеркальним каналом, дБ, не менш як	80	
Ширина смуги пропускання за ПЧ (на рівні мінус 6 дБ)	Внутрішні/зовнішні фільтри, в основному цифрові	
	Від 0,1 до 10 кГц	Від 0,1 до 300 кГц
Вибірковість на рівні від мінус 60 дБ до мінус 6 дБ, КФ ₆₀ , не більш як	2 : 1	
Режими детектування, не менш як	AM, CW, SSB	AM, FM, CW, SSB
Діапазон дії АРП, дБ, не менш як	120	
Наявність виходу сигналу ПЧ	Цифровий	
Діапазон робочих температур	Від 0 до 45 °С	
Відносна вологість повітря, %, не більш як	95, без конденсації	

- спрямованими вимірювальними та каліброваними антенними системами, які розташовуються на висувний щоглі висотою до 10 метрів, із забезпеченням обертання їх в азимутальній площині та елевації в кутомірній;

- автономним джерелом живлення (зовнішнім генератором).

Згідно з раніше сказаним для ССТК можуть використовуватися ТЗ типу «фургон», які мають більший об'єм для розміщення різноманітного вимірювального обладнання. При цьому ССТК на базі фургона можуть також бути оснащені портативним вимірювальним обладнанням.

Для більших за габаритними розмірами фургонів можуть бути передбачені системи стабілізації положення кузова на стоянці за допомогою домкратів, що дозволяє встановлювати одночасно кілька антен або щогл, а також монтувати системи забезпечення життєдіяльності операторів під час тривалих відряджень.

9.7.5.6. Структура станції супутникового моніторингу

Розглянемо, наприклад, структуру станції супутникового моніторингу компанії Integral Systems (США), призначеної для виконання робіт із радіоконтролю транспондерів супутникових станцій у діапазонах частот С і Ku та геолокації ЗССЗ. Узагальнену структурну схему станції наведено на рис. 9.32.

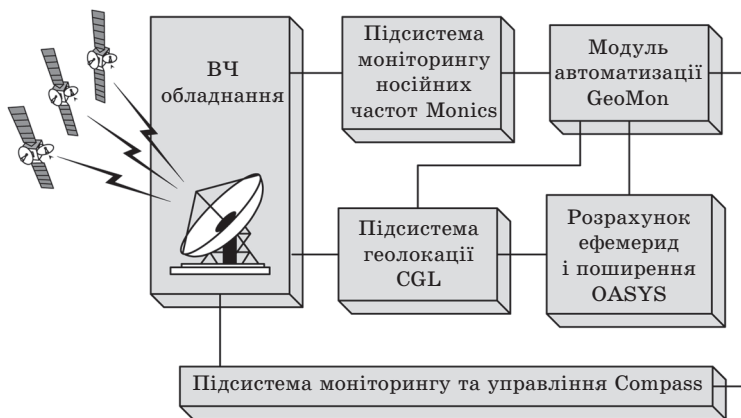


Рис. 9.32. Узагальнена структурна схема станції супутникового моніторингу та геолокації ЗССЗ

Функціонально станція включає в себе п'ять основних складових частин:

- комплект високочастотного обладнання;
- підсистему моніторингу та управління Compass;
- підсистему моніторингу носійних частот Monics;
- підсистему геолокації CGL;
- підсистему OASYS;
- модуль автоматизації GeoMon.

Підсистема **Compass** забезпечує наведення ДС антени на заданий супутник.

Підсистема **Monics** забезпечує аналіз і вимірювання параметрів прийнятого радіовипромінювання транспондера, а також перевірку легітимності роботи супутникової станції (використання транспондера й відповідність параметрів випромінювання дозволеним значенням).

Підсистема геолокації CGL містить у собі БД обліку супутникових станцій та ЗССЗ і забезпечує відображення результатів геолокації на електронній цифровій карті.

Підсистема OASYS є програмним продуктом, який забезпечує розрахунок ефемерид переміщення супутників.

У режимі контролю випромінювання транспондера станції супутникового зв'язку антена встановлюється в положення, яке відповідає кутовому положенню заданого супутника (інформація про це зберігається в БД сервера підсистеми Monics). Підсистема Monics здійснює обробку оцифрованих цифровим перетворювачем сигналів, аналіз і вимірювання параметрів прийнятого радіовипромінювання транспондера.

У режимі геолокації на першому етапі відбувається позиціонування моніторингової антени на супутникову станцію, що ретранслює сигнал контрольованої ЗССЗ, і виконується реєстрація прийнятого сигналу.

На другому етапі скануються сусідні (із контрольованою) супутникові станції з використанням антенної системи геолокації і виявляється друга станція, що ретранслює сигнал контрольованої ЗССЗ (або станції, що створює радіозавади).

Цифровий сигнальний процесор разом із підсистемою OASYS підтримує розрахунок ефемерид переміщення супутників і орієнтовного (прогнозованого) місцезнаходження ЗССЗ.

9.7.5.7. Вимоги до стаціонарних СРМ КХ діапазону

Основна відмінність системи КВ пеленгування від аналогічної системи в ДВЧ/УВЧ діапазонах частот полягає в тому, що для забезпечення практично такої самої ($1,5...2^\circ$) інструментальної точності пеленгування розміри пеленгаторної КХ антенної системи мають бути на один-два порядки більшими. На практиці для КХ СРМ найчастіше використовують кільцеві антенні системи, які складаються із дев'яти антен, виконаних у вигляді монополів висотою від 7 до 12 м або схрещених рамок. Діаметр такої пеленгаторної антенної системи становить 50...120 м.

Узагальнену структурну схему одного з варіантів СРМ КХ діапазону наведено на рис. 9.33.

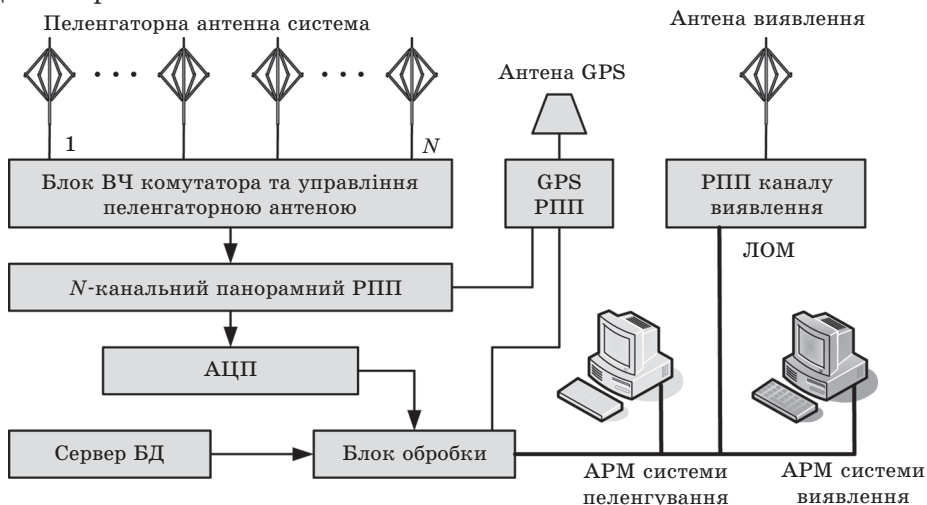


Рис. 9.33. Узагальнена структурна схема СРМ КХ діапазону

Основні елементи цієї структурної схеми такі:

- пеленгаторна антенна система, що складається з дев'яти антен;
- багатоканальний РПП каналу пеленгування з АЦП;
- комутатор каналу пеленгування;
- антена каналу виявлення та технічного аналізу;
- РПП каналу виявлення та технічного аналізу;
- блок обробки;
- сервер бази даних і моделей поширення радіохвиль;
- АРМ системи пеленгування та АРМ системи виявлення.

Канал виявлення та технічного аналізу призначений для забезпечення спостереження та виявлення випромінювань у смугах робочих частот.

Система пеленгування забезпечує визначення пеленгу на ДРВ і дальності до нього в режимі SSL. У випадку виявлення випромінювання на певній частоті за командою з АРМ каналу виявлення комутатор здійснює паралельне опитування пеленгаторних антен і забезпечує їх комутацію залежно від поляризації (горизонтальна, вертикальна, право- або лівостороння кругова) радіохвиль. Блок оброблення здійснює розрахунок азимуту (пеленгу), кута місця приходу хвилі та прогнозованої дальності до ДРВ. Розрахунок дальності здійснюється з використанням однієї з моделей поширення радіохвиль, що враховують пору року й час доби, сонячну активність (число Вольфа) та інші дані.

9.8. Побудова системи радіомоніторингу

9.8.1. Загальні підходи до побудови системи радіомоніторингу

Наявність національної автоматизованої системи радіомоніторингу є однією із неодмінних умов забезпечення ефективного функціонування механізмів регулювання використання РЧР у державі.

Побудова АСРМ передбачає:

- 1) обґрунтування доцільності розгортання АСРМ;
- 2) уточнення основних завдань АСРМ;
- 3) обґрунтування моделі структури АСРМ;
- 4) розробку основних підходів (концепції) до побудови АСРМ;
- 5) вибір технічної бази (виробника) обладнання;
- 6) розробку пропозицій щодо топології АСРМ.

Головні критерії, що визначають обґрунтованість і доцільність побудови АСРМ, такі:

- рівень розвитку галузі телекомунікацій, який характеризується кількістю РЕЗ, що працюють у державі, зокрема й з урахуванням перспектив впровадження нових радіотехнологій;

- кількість порушень у сфері використання РЧР із боку користувачів РЧР і кількість випадків впливу радіозавад;

- прогнозоване підвищення ефективності регулювання використання РЧР за рахунок розгортання АСРМ;

- економічна ефективність від розгортання АСРМ.

Перелік конкретних завдань, що покладаються на АСРМ, є основним чинником, який визначає структуру системи. Ці завдання поділяються на такі три групи:

- 1) завдання з радіоконтролю РЕЗ, коли основну увагу доцільно приділяти розгортанню стаціонарної мережі в районах підвищеної концентрації РЕЗ (у великих містах) із доповненням її мобільним компонентом;

2) завдання з пошуку передавачів, що діють незаконно (ПДН), та усунення впливу радіозавад, виконання яких передбачає зосередження уваги на використанні переважно мобільних станцій, оснащених радіопеленгаторами, і портативних засобів;

3) завдання з оцінювання зайнятості та ступеня використання РЧР, розв'язання яких базується на використанні стаціонарних і транспортovаних СРМ.

Вибір того чи іншого варіанта моделі АСРМ безпосередньо впливає зі змісту завдань, покладених на СРМ: в основу великих за розмірами СРЧМ здебільшого покладено зонально-об'єктну структуру, тоді як невеликі АСРМ будуються за об'єктним принципом.

Розробка принципovих підходів (концепції) до побудови АСРМ передбачає визначення:

- обсягу й послідовності (етапів) проведення робіт;
- джерел фінансування;
- порядку взаємодії, розподілу відповідальності та обов'язків між підрозділами, причетними до реалізації програми;
- методів оцінювання ефективності функціонування системи;
- перспектив подальшого розширення системи;
- технічної бази (виробника) обладнання (це питання є чи не найскладнішим).

Загалом можливості СРЧМ щодо виконання покладених на неї завдань істотно визначаються такими характеристиками самої системи, як кількість задіяних у ній засобів радіомоніторингу разом із їхніми функціональними й технічними можливостями та топологією.

Наприклад, функціональні можливості й умови розгортання стаціонарних РКП визначають розміри та конфігурацію зон радіодоступності РКП, а топологія їх розташування — розміри та конфігурацію зон радіодоступності системи (РПРМ або АСРМ) у цілому. Зону радіодоступності РПРМ можна розширити за рахунок розгортання віддалених дистанційно керованих і/або транспортovаних СРМ, а також використання мобільних СРМ.

Як зазначено в [3], найкращою була б така структура СРЧМ, згідно з якою кожний населений пункт охоплювався б щонайменше двома стаціонарними пеленгаторами. Однак жодна адміністрація зв'язку не може реалізувати такого плану через його надто високу вартість.

10.8.2. Вимоги до топології СРЧМ

10.8.2.1. Варіанти розташування РКП

Як уже зазначалося, кількість засобів радіомоніторингу й, передусім, стаціонарних РКП, визначається згідно з критерієм «розумної достатності»: покриття системою радіомоніторингу всієї території країни є не виправданим з економічного погляду (так, для покриття всієї території країни площею 100 тис. км² потрібно близько 300 стаціонарних РКП) і неефективним в аспекті забезпечення управління ними та оброблення даних.

На практиці в більшості країн СРЧМ будуються за зонально-об'єктним принципом, який передбачає:

- створення суцільних зон радіодоступності (охоплення) РЕЗ у місцях найбільшої їх концентрації (у великих містах) завдяки розгортанню стаціонарних РКП (розгортання стаціонарного компонента СРЧМ);

- розширення зони радіодоступності стаціонарного компонента за рахунок розгортання поодиноких віддалених стаціонарних РКП і тимчасового розташування транспортованих СРМ у невеликих містах (районних центрах), поблизу залізничних вузлів, портів та об'єктів, що мають важливе державне значення, наприклад атомних електростанцій тощо;

- доповнення стаціонарного компонента мобільним для забезпечення розв'язання завдань радіомоніторингу поза зонами радіодоступності стаціонарного компонента й уточнення результатів радіоконтролю в межах цих зон.

Два найпоширеніші варіанти розташування РКП у межах РПРМ наведено на рис. 9.34, а, б. Кількість РКП, потрібних для покриття заданої території, визначається розмірами (радіусами) їхніх зон радіодоступності, заданим коефіцієнтом перекриття та видом зони. Радіус зони залежить від діапазону частот: із підвищенням частоти радіус зони зменшується.

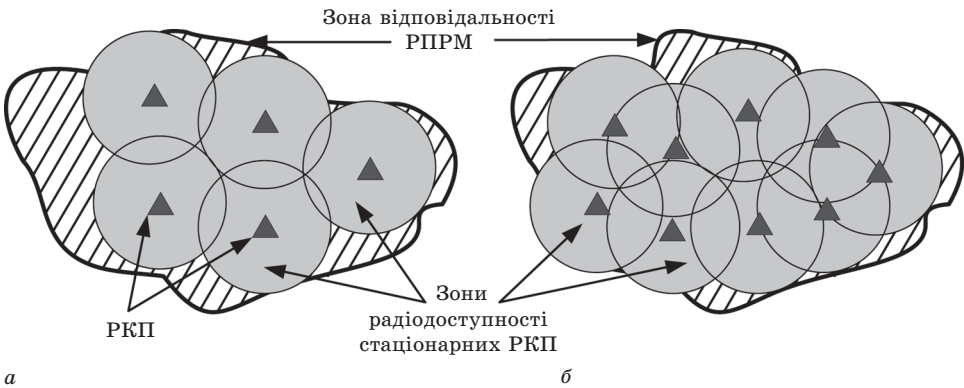


Рис. 9.34. Найпоширеніші варіанти топології РПРМ

Визначення оптимальної (або хоча б найкращої) топології РПРМ за допомогою експериментальних досліджень різних конфігурацій розташування РКП пов'язане з чималими фінансовими витратами та організаційними труднощами, оскільки йдеться про необхідність отримання дозволу муніципальних органів на розгортання обладнання (передусім громіздких антенних систем), підімкнення до мереж електроживлення, каналів зв'язку і т. ін. Водночас уже на етапі проектування топології РПРМ достатньо наявності орієнтовної оцінки можливостей (ефективності) стаціонарних РКП щодо забезпечення радіоконтролю РЕЗ, отриманої за результатами розрахунків зон радіодоступності окремих РКП і всієї РПРМ, за умови розміщення РКП у конкретних місцях.

На практиці під зоною радіодоступності РКП розуміють кілька різних зон:

- зону виявлення радіовипромінювань;
- зону вимірювання основних технічних параметрів радіовипромінювання;
- зону вимірювання додаткових параметрів радіовипромінювання;
- зону пеленгування радіовипромінювань;
- зону визначення місцезнаходження ДРВ.

Ці зони різняться радіусами, що зумовлено різним значенням чутливості РПУ стаціонарної СРМ при виконанні окремих завдань.

Поряд із зонами радіодоступності окремих РКП визначаються також зони виявлення та вимірювання основних і додаткових параметрів радіовипромінювання всієї РПРМ за допомогою об'єднання зон окремих РКП.

На практиці варіант, що його ілюструє рис. 9.34, а, застосовується для створення суцільних зон радіоконтролю (виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювання) на великих територіях, де низька концентрація РЕЗ із використанням станцій технічного радіоконтролю (без пеленгування ДРВ). Відстань між РКП може становити 15...20 км.

Побудова локального угруповання стаціонарних РКП за варіантом, наведеним на рис. 9.34, б, дозволяє РПРМ ефективніше розв'язувати поставлені завдання, особливо в умовах щільної міської забудови та коли йдеться про забезпечення радіоконтролю РЕЗ, які використовують спрямовані антени, а також про побудову угруповання (мережі) радіопеленгаторних станцій, що працюють у синхронній мережі. Відстань між РКП може становити 6...10 км.

Найбільш ефективним для визначення топології пеленгаторної мережі РПРМ у ДВЧ/УВЧ діапазонах у межах великих міст вважається критерій забезпечення визначення місцезнаходження ДРВ із заданими показниками якості (точністю визначення географічних координат триангуляційним методом за результатами пеленгування).

Точність визначення місцезнаходження ДРВ залежить передусім від таких чинників:

- точності вимірювання пеленгів;
- розташування ДРВ відносно радіопеленгаторів;
- віддаленості ДРВ;
- еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності (ЕІВП) передавача РЕЗ.

Експлуатаційна точність пеленгування визначається:

- частотою радіовипромінювання, що пеленгується;
- чутливістю СРМ;
- відношенням сигнал/шум;
- недосконалістю виготовлення антенної системи радіопеленгатора;
- вибором місця розташування пеленгаторної антени (нааявності поблизу від неї сторонніх металевих конструкцій тощо);
- видом сигналу і т. ін.

Точність вимірювання координат ДРВ синхронною пеленгаторною мережею характеризується так званим *еліпсом невизначеності* — областю на площині, у межах якої із заданою ймовірністю може перебувати ДРВ. Залежність похибки визначення місцезнаходження ДРВ від його віддаленості та розташування відносно пеленгаторів ілюструє рис. 9.35, де еліпси (зони) невизначеності місцезнаходження ДРВ зображено як незаштриховані ділянки площини.

Найменша похибка визначення місцезнаходження ДРВ досягається на умовній лінії, рівновіддаленій від обох пеленгаторів на відстань, яка відповідає куту близько 90° між напрямками на обидва пеленгатора. На практиці для спрощення розрахунків похибка визначення місцезнаходження характеризується радіусом кола, площа якого дорівнює площі еліпса невизначеності (рис. 9.36, а). Для бази В пеленгування (відстані між пеленгаторами)

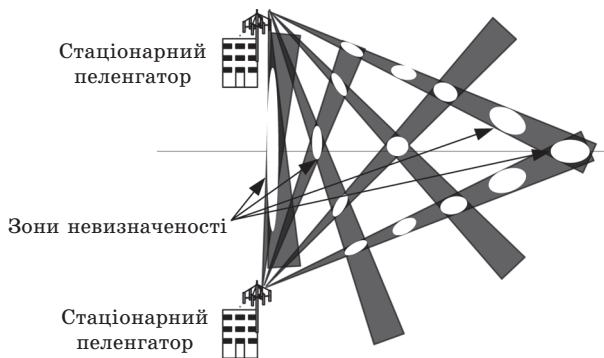


Рис. 9.35. Зони невизначеності мережі з двох пеленгаторів

значення похибки δR (рис. 10.36, б) можна визначити, скориставшись такою наближеною рівністю:

$$\delta R \approx 0,5 B \sin 2 \Delta, \quad (9.54)$$

де Δ — точність пеленгування.

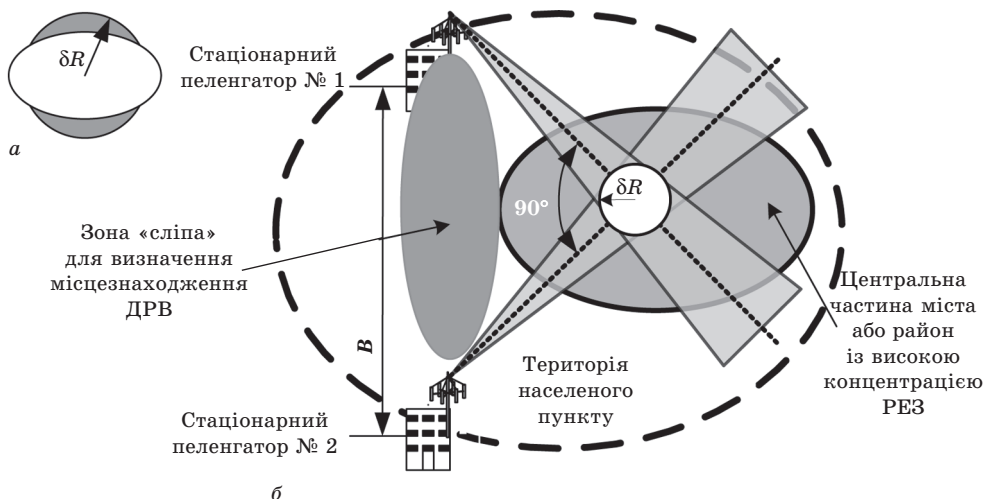


Рис. 9.36. Топологія пеленгаторної мережі з двох РКП

Якщо база пеленгування $B = 8$ км, а похибка $\Delta = 2^\circ$, то потенційна точність визначення місцезнаходження ДРВ $\delta R \approx 0,3$ км.

Найбільше значення похибки визначення координат ДРВ досягається на віртуальній лінії, що сполучає два пеленгатори. Тому для уникнення появи «сліпих» (таких, де неможливо визначити місцезнаходження ДРВ) зон за умови розгортання двох пеленгаторних постів їх доцільно розташовувати в напрямі до околиць міста не діаметрально протилежно один одному, а під кутом близько 90° відносно центральної частини міста або району з найбільшою концентрацією РЕЗ (див. рис. 9.36, б).

У разі розгортання трьох РКП їх доцільно розташовувати у вершинах трикутника, або унеможливити появу «сліпих» зон місцезнаходження ДРВ (рис. 9.37).

Оптимальна відстань між радіопеленгаторами становить 8...10 км.

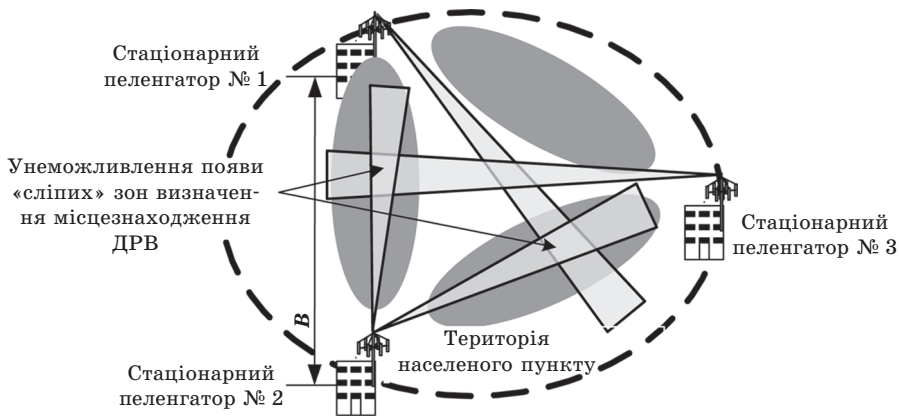


Рис. 9.37. Топологія пеленгаторної мережі з трьох РКП

Визначення топології СРЧМ, оптимальної згідно з критерієм забезпечення максимальної ефективності розв'язання відповідних завдань у загальному випадку базується на використанні так званого мінімаксного критерію і передбачає:

- розроблення підходів до оцінювання ефективності функціонування СРЧМ;
- визначення критеріїв оцінювання ефективності функціонування СРЧМ;
- вибір варіанта розподілу засобів радіомоніторингу за територією, варіантів розташування та пунктів розміщення (розгортання) стаціонарних РКП та постійної дислокації мобільних засобів, які забезпечують максимальне значення оцінки ефективності;
- розрахунок мінімальної кількості засобів, необхідних для розв'язання поставлених завдань із заданою якістю.

Аналіз розподілу РЕЗ за діапазонами (смугами) радіочастот показує, що понад 90% усіх РЕЗ функціонують у смугах частот до 3 ГГц, причому близько половини з них — у смугах частот до 1 ГГц (тобто в ДВЧ і нижній частині УВЧ діапазонів) і належать до радіотехнологій першої групи. Значна частина цих РЕЗ розташовується як безпосередньо у містах, так і поблизу від них, потрапляючи, таким чином, у зони радіодоступності стаціонарного компонента СРЧМ.

Характерною особливістю умови поширення радіохвиль у цих діапазонах є прямолінійність, що зумовлює невеликий радіус зон радіодоступності СРМ, обмежений, як правило, дальністю прямої видимості (котра не перевищує кількох десятків кілометрів) і потужністю передавачів РЕЗ.

Розміри реальних зон радіодоступності стаціонарних РКП залежать від багатьох чинників: параметрів РПП, рельєфу місцевості, щільності міської забудови, характеристик випромінювання РЕЗ і т. ін. При прогнозуванні розмірів та конфігурації зони радіодоступності необхідно враховувати вплив цих чинників. Розрахунок зони радіодоступності ґрунтується на використанні процедури оцінювання рівня напруженості поля електромагнітного випромінювання в місці розташування РКП. Утім, жодна, навіть найскладніша й найбільш комплексна методика не має у своєму розпорядженні точної фізичної моделі поширення радіохвиль. Отже, через неможливість

урахування всіх чинників може йтися лише про **оцінювання** зони радіодоступності стаціонарних РКП.

Одна з розроблених і використовуваних в УДЦР методик розрахунку зон радіодоступності РКП базується на застосуванні положень Рекомендації ITU-R SM.1546-2 із метою прогнозування напруженості поля на трасах «пункт–зона» («точка–зона») для радіомовної, сухопутної рухомої, морської рухомої та деяких фіксованих радіослужб у смугах частот від 30 до 3000 МГц і для відстаней у діапазоні від 1 до 1000 км [112].

Розрахунок зони радіодоступності (зон виявлення, вимірювання основних/додаткових параметрів, пеленгування) здійснюється за таким алгоритмом.

1. Задається значення частоти f , для якої необхідно виконати розрахунок заданого типу зони (у діапазоні частот від 100 до 3000 МГц) і значення ЕІВП передавача РЕЗ.

2. Визначається територія, у межах якої необхідно виконати розрахунок зони радіодоступності, а також тип траси. На території більшості країн Східної Європи розрахунки можна виконувати лише для сухопутної траси, а розміри зони розрахунку брати від 30 до 50 км залежно від випромінюваної передавачем РЕЗ потужності.

3. Задається частка (у відсотках) часу, протягом якого припускається погіршення показників якості приймання сигналів (1, 10, або 50%). З урахуванням завдань СРЧМ доцільно брати 50%.

4. Визначена в п.2 територія «розбивається» на елементарні майданчики, розміри яких залежать від масштабу (розрізняювальної здатності) цифрових карт (на практиці для спрощення розрахунків доцільно брати 50×50 м).

5. Для кожного елементарного майданчика визначається його відстань від РКП і розраховується ефективна висота $h_{\text{прд.еф}}$ підвішення антени передавача РЕЗ. Дискретність за дальністю визначається масштабом цифрової карти і зазвичай дорівнює 50 м.

6. Із використанням наведених у [112] графіків або табличних значень для заданого значення дальності та $h_{\text{прд.еф}}$ визначається рівень напруженості поля E .

Якщо значення висоти $h_{\text{прд.еф}}$ збігається з одним із восьми фіксованих значень висоти, для яких у [112] наведено графіки, то значення E можна визначити безпосередньо з них. У протилежному випадку за наведеною далі формулою здійснюється екстраполяція значення напруженості електричного поля, дБмкВ/м:

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}) \lg(h_{\text{неп}}/h_{\text{inf}}) / \lg(h_{\text{sup}}/h_{\text{inf}}), \quad (9.55)$$

де E_{inf} , E_{sup} — напруженість поля на відстані d від передавача РЕЗ для висоти відповідно h_{inf} , h_{sup} ; h_{inf} , h_{sup} — значення найближчого номінального значення висоти, меншого і, відповідно, більшого за $h_{\text{прд. еф}}$;

Якщо значення частоти f збігається з одним із номінальних значень (100, 600 або 2000 МГц), то напруженість поля E визначається безпосередньо з графіка, у протилежному випадку — інтерполяцією значень напруженості для двох сусідніх (вищих і нижчих за частотою) значень за відповідними формулами, наведеними в [112].

У разі відмінності значення ЕІВП від номінального (1 кВт) здійснюється корекція розрахованого значення E .

За результатами розрахунків визначаються елементарні майданчики, розраховані рівні випромінювання з яких (у разі розміщення там передавачів із заданим рівнем ЕІВП) у пункті приймання (місці розташування РКП) перевищують граничне значення (чутливість РПП з урахуванням заданого відношення сигнал/шум). Сукупність цих елементарних майданчиків і визначає зону радіодоступності (зони виявлення, вимірювання параметрів радіовипромінювання, пеленгування) РКП, а майданчики, прогнозований рівень випромінювання з яких дорівнює значенню граничної напруженості поля для конкретної СРМ, — межі зон (із точністю до 50 м).

Наприклад, для СРМ виробництва ТОВ «Спец» ХСВД-2 «Спецвузавтоматика» (типи СРМ — АИК-С, АИК-СП, РМ-2500Р), які використовують РПП АР-5000 (АР-ONE), граничні рівні E_{thr} , дБмкВ/м, для різних режимів роботи СРМ задано так:

- $E_{thr \text{ пеленг}} = E_{min} + 6 \text{ дБ}$ — для режиму пеленгування сигналів;
- $E_{thr \text{ вим. осн}} = E_{min} + 40 \text{ дБ}$ — для режиму вимірювання основних параметрів радіовипромінювання;
- $E_{thr \text{ вим. дод}} = E_{min} + 46 \text{ дБ}$ — для режиму вимірювання додаткових параметрів радіовипромінювання.

Тут E_{min} — мінімальна (порогова) напруженість поля (чутливість) для певної СРМ.

Для зазначених раніше типів РПП чутливість (без урахування типового для різних частотних піддіапазонів відношення сигнал/шум) $P_{пр, min} = -107 \text{ дБмВт}$, що відповідає рівню сигналу на вході РПП $U_{пр} = 0 \text{ дБмкВ}$ (1 мкВ).

Беручи до уваги k -фактор (антенний фактор), який ураховує ефективність антени та загасання штатного кабелю, знаходимо граничне значення E_{min} напруженості поля (чутливість РПП), яке для піддіапазону частот 400 МГц становить 8 дБмкВ/м (для піддіапазону частот 700 МГц — близько 12,6 дБмкВ/м).

Розглянемо приклад розрахунку зони радіодоступності стаціонарної СРМ для таких умов:

- тип СРМ: АИК-С, АИК-СП, РМ-2500Р;
- ЕІВП передавача — 20 Вт;
- висота підвішення антени передавача РЕЗ $h_{прд} = 100 \text{ м}$;
- абсолютна висота місця, де розташовано антену передавача РЕЗ, $h_{абс} = 210 \text{ м}$;
- частота передавача відповідає частоті 50 телевізійного каналу.

Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

1. Визначаємо робочу частоту f сигналу зображення 50-го телевізійного каналу: $f = 703,25 \text{ МГц}$.

2. Вибираємо графік кривих виявлення для таких умов:

- траса сухопутна;
- частка часу — 50%.

Оскільки робоча частота передавача відрізняється від значень номінальних частот (600 і 2000 МГц), то вибираються дві криві виявлення для зазначених умов [112]. Набір кривих виявлення для сухопутної траси на частоті 600 МГц і частки часу 50% наведено на рис. 9.38.

3. Беремо елементарний майданчик, розташований на відстані $d = 20 \text{ км}$ у деякому напрямі від РКП.

600 МГц, сухопутна граса, 50% часу

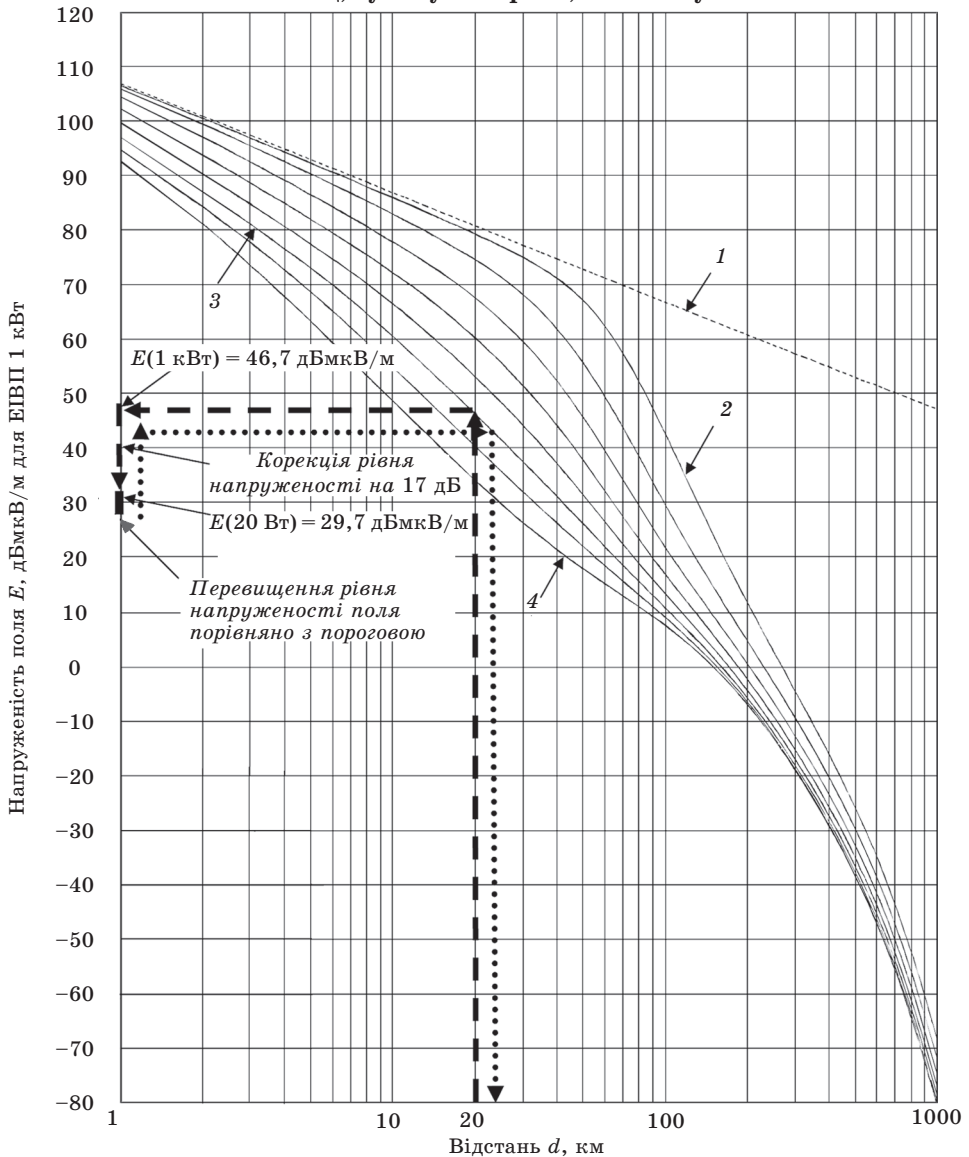


Рис. 9.38. Криві виявлення (Рекомендація ІТУ-Р Р.1546-2): 1 — максимальна напруженість (вільний простір); 2 — висота передавальної антени $h_{\text{прд}} = 1200$ м; 3 — $h_{\text{прд}} = 37,5$ м; 4 — $h_{\text{прд}} = 10$ м

4. Визначаємо середню висоту рельєфу $h_{\text{рельєф}}$, абсолютну $h_{\text{прд.абс}}$ і ефективну $h_{\text{прд.еф}}$ висоту підняття антени передавача.

Середня висота рельєфу $h_{\text{рельєф}}$ визначається з використанням цифрової карти за такою методикою.

Значення ефективної висоти $h_{\text{прд.еф}}$ визначається як перевищення абсолютної висоти розташування антени $h_{\text{прд.абс}}$ над середньою висотою рельєфу $h_{\text{рельєф}}$. Методику визначення $h_{\text{прд.абс}}$ ілюструє рис. 9.39.

Висота $h_{\text{рельєф}}$ визначається усередненням абсолютних висот рельєфу на ділянці від 3 до 15 км від місця розташування передавача (обраного поточ-

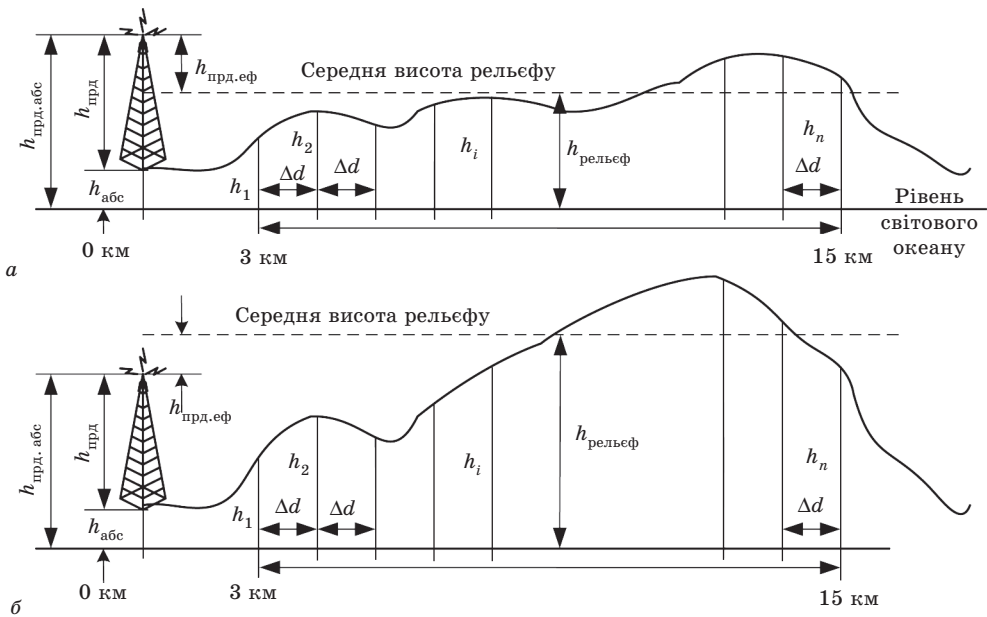


Рис. 9.39. Визначення ефективної висоти підвішення антени та висоти рельєфу для випадку додатної (а) та від'ємної (б) ефективної висоти передавача

ного майданчика) у напрямі на РКП. При цьому для різних напрямів значення висоти рельєфу можуть істотно різнитися. В окремих випадках ефективна висота взагалі може набувати від'ємних значень.

Після розрахунку ефективної висоти перевіряється виконання умови прямої видимості між передавальною антеною та антеною СРМ. Для цього визначається кут просвіту (рис. 9.40).

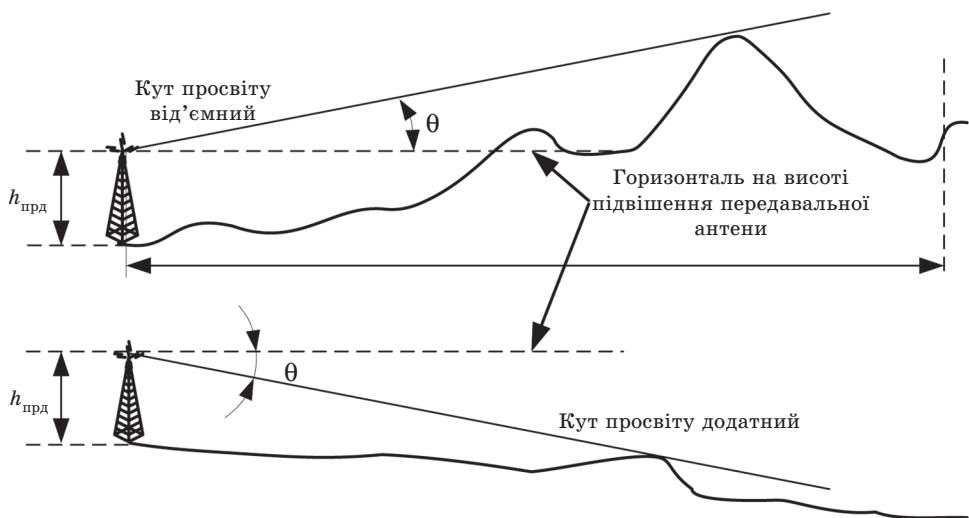


Рис. 9.40. Визначення кута просвіту для передавача

Для спрощення розрахунків візьмемо $h_{абс} = 270$ м. При цьому

$$h_{прд.абс} = h_{прд} + h_{абс} = 310 \text{ м}, \tag{9.56}$$

$$h_{прд.еф} = h_{прд.абс} - h_{рельєф} = 40 \text{ м}. \tag{9.57}$$

5. За графіком, наведеним на рис. 9.38, за умови, що номінальний рівень ЕІВП = 1 кВт, визначаємо значення напруженості поля на відстані d від передавача (РЕЗ) у напрямі РКП (штрихова лінія):

$$E(1\text{кВт}) = 46,2 \text{ дБмкВ/м.}$$

6. З огляду на відмінність значення $h_{\text{прд.еф}}$ від стандартного (37,5 м) проводимо корекцію $E(1 \text{ кВт})$ з урахуванням висоти $h_{\text{прд.еф}} = 40 \text{ м}$ за відповідною формулою. Для розрахованої висоти $h_{\text{прд.еф}} = 40 \text{ м}$ значення

$$E(1 \text{ кВт}) = 46,7 \text{ дБмкВ/м.}$$

7. З огляду на відмінність заданого значення рівня ЕІВП від 1 кВт коригуємо рівень напруженості поля E на 17 дБ:

$$E(20 \text{ Вт})_{600 \text{ МГц}} = E(1 \text{ кВт}) - 17 \text{ дБ} = 29,7 \text{ дБмкВ/м.}$$

8. Аналогічно визначаємо значення $E(20 \text{ Вт})$ для частоти 2000 МГц:

$$E(20 \text{ Вт})_{2000 \text{ МГц}} = 27,5 \text{ дБмкВ/м.}$$

9. Через відмінність заданого значення частоти f від одного з номінальних значень коригуємо рівень напруженості поля для частоти $f = 703,25 \text{ МГц}$:

$$E(20 \text{ Вт})_{703 \text{ МГц}} \approx 29,6 \text{ дБмкВ/м.}$$

10. Порівнюємо розраховане значення напруженості поля із граничним для даних СРМ:

$$E(20 \text{ Вт})_{703 \text{ МГц}} > E_{\text{мін.обн}} = 25,8 \text{ дБмкВ/м.}$$

Висновок. Рівень напруженості поля, що його створює передавач, ЕІВП якого дорівнює 20 Вт і який розташовується на аналізованому майданчику на відстані 20 км від РКП, перевищує граничне значення на 3,8 дБ, а отже, цей майданчик перебуває в межах зони радіодоступності РКП.

11. Розрахунки згідно з п. 3–9 повторюються для всіх інших елементарних майданчиків у межах заданої території до досягнення відповідності розрахованого рівня напруженості поля чутливості СРМ. Відповідне значення дальності береться за дальність межі зони радіодоступності в даному напрямі.

Здобуті результати, незважаючи на наближений характер виконаних розрахунків, дозволяють зробити кілька дуже важливих висновків щодо оцінювання зони радіодоступності стаціонарних РКП, оснащених багатofункціональними стаціонарними СРМ (на базі РПП типу AR-5000, AR-ONE), для стандартних умов, а саме:

1) РКП розміщуються на домінуючих елементах місцевості на висоті 30...40 м від рівня землі (приблизно на рівні даху дев'ятиповерхового будинку);

2) частота становить близько 700 МГц;

3) передавачі мають ЕІВП, що дорівнює 20 Вт.

При цьому маємо такі оцінки:

а) максимальний радіус зони в режимі виявлення радіовипромінювань передавачів становить 20–25 км;

б) в умовах щільної міської забудови максимальна відстань, на якій СРМ забезпечує вимірювання параметрів радіовипромінювання, дорівнює 10–15 км;

в) радіус зони радіопеленгування — 20...25 км;

г) для створення суцільної зони визначення місцезнаходження ДРВ у ДВЧ/УВЧ діапазоні відстань між сусідніми стаціонарними РКП має бути не більш як 8...10 км;

д) із підвищенням частоти радіус зони радіодоступності зменшується.

У разі використання РПП із вищою чутливістю потрібна корекція результатів розрахунків зони радіодоступності.

9.8.3. Методика оцінювання ефективності функціонування СРЧМ за критерієм повноти виконання завдань

Ефективність функціонування СРЧМ можна оцінити за двома основними показниками:

- за повнотою виконання завдань, покладених на СРЧМ;
- за рівнем рентабельності СРЧМ.

Стосовно останнього критерію, він буде розглянутий у наступному розділі.

Оцінюючи ефективність функціонування СРЧМ за критерієм повноти виконання покладених на неї завдань, окреслюють таке їх коло:

- проведення планового радіоконтролю РЕЗ;
- забезпечення системи частотного менеджменту інформацією про використання РЧР і реальний стан ЕМО для ухвалення управлінських рішень у сфері регулювання використання РЧР;
- виявлення та усунення дії радіозавад.

Рентабельність СРЧМ визначається співвідношенням дохідних і витратних статей СРЧМ.

Стосовно планового радіоконтролю РЕЗ ефективність функціонування СРЧМ можна оцінити лише опосередковано. Такою непрямою характеристикою потенційних можливостей СРЧМ є ступінь охоплення РЕЗ системою радіомоніторингу. Кількісною оцінкою такого ступеня може бути коефіцієнт $K_{\text{ох}}$ охоплення радіоконтролем РЕЗ.

Цей коефіцієнт — величина безрозмірна, яка визначається відношенням кількості $N_{\text{ох}}$ РЕЗ, охоплюваних радіоконтролем у межах певної території протягом заданого інтервалу часу (наприклад, місяця), до загальної кількості $N_{\text{РЕЗ}}$ тих РЕЗ, які зареєстровано на цій території:

$$K_{\text{ох}} = N_{\text{ох}}/N_{\text{РЕЗ}}. \quad (9.58)$$

Що ж до $N_{\text{РЕЗ}}$, то інформація про кількість зареєстрованих РЕЗ зберігається в БД обліку РЕЗ (БД обліку частотоприсвоєнь).

Кількість охоплених радіоконтролем РЕЗ у загальному випадку залежить від кількості засобів, задіяних для виконання завдань радіоконтролю (стаціонарних РКП, МСРМ, спеціалізованих мобільних станцій і портативних засобів радіоконтролю), та їхньої продуктивності (кількості РЕЗ, контрольованих цими засобами за одиницю часу). А оскільки продуктивність кожного засобу радіоконтролю визначається його видом (стаціонарний комплекс, мобільна, спеціалізована станція або спеціалізоване обладнання радіоконтролю), режимом роботи (цілодобовий або протягом робочого дня) і контрольованою радіотехнологією, то для спрощення розрахунку всі РЕЗ поділяють на чотири групи.

Перша група включає в себе ті радіотехнології, радіовипромінювання РЕЗ яких контролюються стаціонарними засобами в зонах їх радіодоступ-

ності і багатофункціональними МСРМ поза зонами радіодоступності стаціонарних РКП, зокрема:

- аналогове телевізійне та звукове мовлення;
- цифровий та аналоговий транкінговий зв'язок;
- УКХ радіозв'язок;
- КХ радіозв'язок;
- радіозв'язок передавання даних.

Особливість розрахунків коефіцієнта $K_{\text{ох}}$ охоплення радіоконтролем РЕЗ зазначеної категорії полягає в тому, що абсолютна більшість стаціонарних СРМ здатна функціонувати щодня в режимі цілодобової роботи, неодноразово виконуючи радіоконтроль усіх РЕЗ, які перебувають у зоні їх радіодоступності. Розрахунок рівня охоплення РЕЗ мобільними станціями поза зонами радіодоступності стаціонарного компонента здійснюється з урахуванням часу проїзду МСРМ до місця проведення радіоконтролю та на зворотний шлях.

Другу групу становлять радіотехнології, які контролюються спеціалізованими мобільними станціями, зокрема:

- стільниковий зв'язок (стандартів GSM900, DCS1800, CDMA800, UMTS/W-CDMA, CDMA450);
- DECT;
- багатоканальне наземне телевізійне та звукове мовлення.

Розрахунок коефіцієнта охоплення РЕЗ систем стільникового зв'язку, DECT і багатоканальне наземне мовлення мобільними станціями поза зонами радіодоступності стаціонарного компонента також здійснюється з урахуванням часу проїзду МСРМ до місця проведення радіоконтролю та на зворотний шлях.

Третю групу утворюють радіотехнології, контроль яких здійснюється з використанням спеціалізованих засобів, транспортованих мобільними станціями. До них належать радіотехнології:

- широкосмугового радіодоступу;
- мультимедійного та мультисервісного радіодоступу.

Особливість організації радіоконтролю РЕЗ третьої групи радіотехнологій полягає в тому, що для транспортування засобів радіоконтролю можуть використовуватися будь-які транспортні засоби, зокрема й МСРМ. При розрахунку коефіцієнта охоплення радіоконтролем РЕЗ третьої групи необхідно також ураховувати час, потрібний для пошуку радіозавод і передавачів, що діють незаконно.

Четверта група охоплює радіотехнології, контроль яких здійснюється із застосуванням вимірювальних засобів загального призначення (аналізаторів спектра, аналізаторів сигналів, моніторингових та вимірювальних РПП тощо). До них належать:

- радіорелейний зв'язок;
- супутниковий радіозв'язок;
- радіолокація та радіонавігація;
- ISM (промислові, наукові й медичні) ВП.

Такі особливості здійснення радіоконтролю РЕЗ четвертої групи, як додаткові витрати часу на розгортання/згортання обладнання (включаючи антенні системи), пошук радіовипромінювань та їх ідентифікацію (ототожнення), вимірювання тощо, необхідно брати до уваги у процесі розрахунків показників ефективності СРЧМ.

Розрахунок показників ефективності (коефіцієнтів охоплення) функціонування СРЧМ вимагає знання продуктивності джерел отримання інформації — стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу та груп операторів, оснащених портативним вимірювальним обладнанням. На практиці ці значення оцінюються експериментально, статистичним усередненням часу, що витрачається на виконання однотипних, стандартних операцій при проведенні радіоконтролю РЕЗ однієї радіотехнології.

При розрахунку показників продуктивності для мобільних станцій і вимірювальних приладів необхідно зважати також на час, затрачуваний на розгортання обладнання, його ввімкнення, підготовку до роботи (монтаж вимірювальних антен, входження обладнання в робочий режим роботи тощо), згортання після виконання вимірювань та на підготовку звітної документації (протоколів).

Згідно з аналізом структури РПРМ основними напрямками підвищення ефективності її функціонування можна вважати два шляхи.

1. *Екстенсивний шлях*, який зводиться до розширення топології РПРМ за рахунок розгортання нових стаціонарних РКП і/або збільшення кількості МСРМ, портативних засобів тощо. Цей шлях дає відчутні результати на початковому етапі побудови базової структури СРЧМ (РПРМ).

2. *Інтенсивний шлях*, який базується на таких чинниках:

- автоматизації процесів радіоконтролю, зокрема використанні режиму радіоконтролю «на проїзді» (під час руху транспортного засобу) для мобільних засобів і впровадженні автоматичної системи радіоконтролю з використанням радіочастотних сигналізаторів (датчиків);

- збільшенні продуктивності мобільних і портативних засобів за рахунок використання нових, більш швидкодіючих засобів радіоконтролю;

- зменшенні часових витрат на проїзд до місця проведення робіт із радіоконтролю та об'єднанні виконання різнорідних завдань;

- уніфікації обладнання та процедур виконання робіт із радіоконтролю;

- підвищенні кваліфікації персоналу.

9.8.4. Обґрунтування вимог до дальності розташування РЕЗ від РКП

Обґрунтовані раніше вимоги й пропозиції щодо топології РПРМ і відстаней між РКП визначено згідно з критерієм забезпечення найбільшого охоплення РЕЗ для розв'язування завдань із радіоконтролю та визначення місцезнаходження ДРВ, тобто реалізації потенційних можливостей РПРМ. Утім, як уже зазначалося, на практиці вибір того чи іншого місця розташування РКП найчастіше здійснюється на підставі компромісного рішення, ухваленого з урахуванням таких обставин:

- для формування суцільної зони радіодоступності стаціонарних РКП і забезпечення максимальної зони охоплення РЕЗ антенні системи стаціонарних СРМ необхідно розміщувати на тих елементах місцевості, які явно домінують (щоглах, вежах, дахах висотних будинків або інших будівель);

- саме майданчики на зазначених елементах місцевості передусім виявляються зайнятими антенами БС систем стільникового зв'язку і широкосмугового доступу.

При цьому варто зважати на те, що й досі в більшості країн Європи немає законодавчо підкріплені підстав щодо закріплення обраних майданчиків за державними органами у сфері регулювання використання РЧР (радіо-

частотними органами) та заборони розташування на них антенних систем РЕЗ. Останнє часто призводить до ускладнення електромагнітної обстановки для вже розгорнутих СРМ та конфліктів між цими органами та співвласниками житлових будинків. У Рекомендації ITU-R SM.575 [123] визначено гранично припустимі для РПП СРМ рівні напруженості поля електромагнітного випромінювання у ВЧ діапазоні у смузі частот до 3 ГГц (табл. 9.14).

Таблиця 9.14

Гранично припустимі рівні напруженості поля для РПП

Смуга частот	Напруженість поля одного домінуючого ДРВ, мВ/м	Середньоквадратичне значення напруженості поля за наявності більш ніж одного ДРВ, мВ/м
9...174 МГц	10	30
174...960 МГц	50	150
960 МГц...3 ГГц	5	15

Залежно від відстані між РЕЗ і СРМ, який оснащено РКП, можна розглядати два види розрахунків ЕМС:

- 1) розрахунок ЕМС РЕЗ і СРМ на малих (до 1000 м) відстанях між ними;
- 2) розрахунок ЕМС локального угруповання РЕЗ при розміщенні їх на одному майданчику з антеною СРМ (так звана об'єктна ЕМС).

У першому випадку враховуються завади таких видів [124; 125]:

- за першим сусіднім каналом;
- за гармоніками;
- інтермодуляційні радіозавади 3-го порядку.

У другому випадку крім перелічених можуть також ураховуватися радіозавади [126–128]:

- за сусідніми каналами;
- інтермодуляційні радіозавади більш як 3-го порядку;
- блокування;
- за дзеркальним каналом;
- за першою гармонікою ПЧ.

На практиці антени СРМ і РЕЗ можуть бути рознесені одна відносно одної у просторі не тільки за відстанню, а й за висотою, що іноді дозволяє ефективно подолати труднощі їх розв'язки [128] (рис. 9.41).

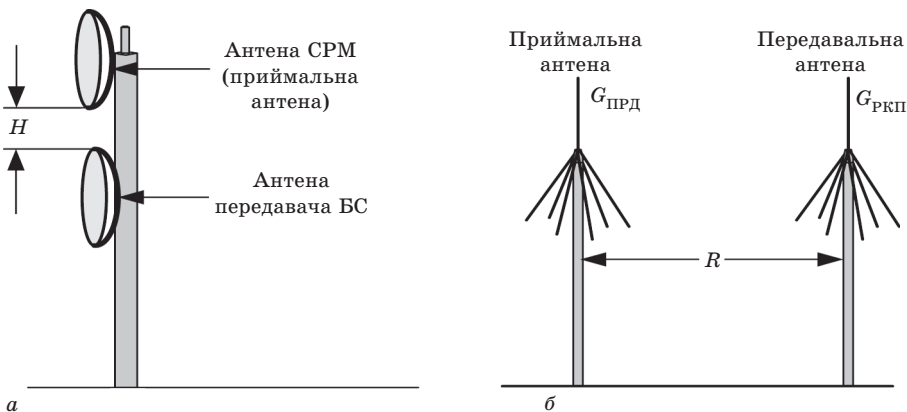


Рис. 9.41. До визначення розв'язки між антенами

a — вертикальне, або колінеарне, рознесення; *б* — горизонтальне рознесення

Горизонтальна розв'язка менш ефективна, причому за малих значень відношення R/λ з його збільшенням практично не змінюється.

Виходячи з наведених раніше технічних характеристик РПУ AR-5000 (чутливість $P_{\text{пр.мін}} = -107$ дБмВт і параметр блокування $K_{\text{бл}} = 110$ дБ), можна визначити, що СРМ типу АИК-З, АИК-СП, якими оснащено стаціонарні РКП УГЦР, дозволяють вимірювати без блокування та введення додаткового ослаблення на вході РПП сигнали з максимальним рівнем потужності $P_{\text{макс}} = 3$ дБмВт (2 мВт).

Проаналізувавши результати розрахунків рівнів завадних випромінювань від РЕЗ до СРМ, можна сформулювати такі пропозиції щодо реалізації заходів захисту засобів радіомоніторингу стаціонарних РКП від радіовипромінювань РЕЗ.

1. Не рекомендується розгортати антени РЕЗ і СРМ стаціонарних РКП на одному майданчику. Мінімально припустимі відстані між ними за умови розгортання на різних майданчиках становлять:

- для РЕЗ УКХ радіозв'язку:
- у піддіапазоні частот 30 МГц (за потужності передавача до 25 Вт) — не менш як 100 м;
- у піддіапазоні частот 150 МГц (за потужності передавача до 25 Вт) — не менш як 20 м;
- для малопотужних (до 100 Вт) РЕЗ звукового й телевізійного мовлення у відповідних піддіапазонах частот до 230 МГц — не менш як 100 м;
- для потужних (понад 1 кВт) передавачів звукового й телевізійного мовлення:
 - у смузі частот від 100 до 230 МГц — не менш як 400 м;
 - у смузі частот від 470 до 862 МГц — не менш як 100 м.

Для РЕЗ стільникового зв'язку, що працюють у піддіапазонах частот 800 і 900 МГц, припускається розміщення антен БС на одному майданчику з антенами СРМ стаціонарного РКП із використанням просторового рознесення антен (не менш як 1 м у вертикальній площині та водночас не менш як 10 м у горизонтальній площині).

2. Основні випромінювання практично всіх потужних передавачів на відстані до 1 км у смузі частот від 30 до 470 МГц можуть створювати інтермодуляційну заваду з менш потужними передавачами, які працюють на цих самих частотах. Передавачі БС стільникового зв'язку можуть створювати таку заваду в піддіапазоні частот 900 МГц на відстані до 100 м. Потужні (потужністю понад 100 Вт) передавачі можуть створювати інтермодуляційну заваду в смузі частот до 900 МГц на відстані до 1 км.

3. Ефективним способом зменшення впливу випромінювань РЕЗ на стаціонарні СРМ при використанні тих самих майданчиків є застосування горизонтальної, вертикальної або мішаної розв'язки антен за рахунок рознесення їх за висотою. Так, у разі встановлення антени СРМ на одній щоглі з антеною БС стільникового зв'язку достатньо рознести їх за висотою на 1 м, аби зменшити потужність радіозавади (радіовипромінювання) від БС на 47 дБ. Аналогічна розв'язка досягається в разі рознесення їх у горизонтальній площині на 10 м.

Вибір місць розгортання стаціонарних необслуговуваних РКП здійснюється з урахуванням таких обставин:

- створення суцільної зони радіодоступності (зони виявлення радіовипромінювань, зони вимірювання параметрів радіовипромінювань, зони

пеленгування та визначення місцезнаходження РЕЗ) у центральних районах обласних центрів;

- забезпечення максимальної зони радіодоступності заданою кількістю РКП;
- можливість розташування антенних систем СРМ на елементах місцевості, що домінують (на висотних будинках, баштах, вишках);
- забезпечення каналів зв'язку.

9.9. Організація робіт із радіомоніторингу

До категорії основних робіт із радіомоніторингу належить виконання таких трьох завдань:

- 1) проведення контролю технічних параметрів радіовипромінювання РЕЗ;
- 2) виявлення та усунення дії радіозавад;
- 3) забезпечення надання інформації системі частотного менеджменту для ухвалення управлінських рішень у сфері регулювання використання РЧР.

9.9.1. Планування радіомоніторингу

Ефективність функціонування служби радіомоніторингу значною мірою залежить не лише від рівня організації СРЧМ, а й від раціонального розподілу технічних і часових ресурсів, що перебувають в її розпорядженні. Під **плануванням робіт** із радіомоніторингу слід розуміти розподіл ресурсів (технічних засобів, персоналу, робочого часу тощо) служби радіомоніторингу для забезпечення розв'язання поставлених завдань із показниками ефективності, не нижчими від заданих.

Деякі спрощені підходи до організації робіт із радіомоніторингу, які ґрунтуються на відмінностях у принципах організації та терміновості їх виконання, викладено в [11]. Згідно з ними розклади виконання робіт поділяються на такі категорії:

- 1) планові завдання, які не можна відкласти;
- 2) планові завдання, які можна відкласти;
- 3) непередбачувані завдання, які можна відкласти;
- 4) непередбачувані завдання, які не можна відкласти.

Згідно із запропонованою класифікацією перша категорія охоплює такі завдання, як вимірювання напруженості поля, що їх до визначеного терміну має виконати адміністрація зв'язку, котра володіє конкретною частотою з метою міжнародної координації. Звичайні вимірювання (скажімо, перевірка точного дотримання умов частотного присвоєння), не обмежені жодним граничним терміном, виконання яких можна відкласти, становлять другу категорію. До третьої категорії потрапляють повідомлення про завади некритичного характеру, такі як завади в діапазоні СВ (ідеться про діапазон *Citizen Band*) або завади аматорській службі. До четвертої категорії належать радіозавади радіослужбам, пов'язаним із безпекою (наприклад, COSPAS/SARSAT або поліцейський радіозв'язок).

Утім, не заперечуючи важливості виконання робіт із забезпечення міжнародної координації та усунення завад радіослужбам, пов'язаним із безпекою, варто зазначити, що така категорійність робіт не лише суттєво обмежує сферу завдань служби радіомоніторингу, а й виключає деякі з них, зокрема:

- надання інформації системі частотного менеджменту про реальний стан використання РЧР і ЕМС РЕЗ (оцінювання зайнятості смуг спектра та стан електромагнітної обстановки);

- виявлення та розв'язування ситуацій щодо появи радіозавад радіослужбам у смугах частот загального користування;

- вимірювання зон радіопокриття;

- проведення наукових і технічних досліджень тощо.

Більш того, обсяг робіт, виконуваних службою радіомоніторингу для розв'язування трьох із перелічених категорій завдань (за винятком планових робіт, виконання яких можна відкласти), становить одиниці відсотків від загального обсягу робіт служби. Так, на підставі аналізу виконання робіт підрозділами радіоконтролю УДЦР у 2007 і 2009 роках складено табл. 9.15 [86, 148].

Таблиця 9.15

Розподіл робіт, виконаних підрозділами радіоконтролю УДЦР у 2007 та 2009 роках, за видами цих робіт

Найменування робіт	Кількість робіт	
	2007	2009
Вимірювання параметрів випромінювань РЕЗ	Близько 1,9 млн	Понад 1,5 млн
Виявлення порушень у сфері використання РЧР	Близько 12,3 тис	Близько 1,6 тис
Виявлення РЕЗ, що працюють незаконно	Близько 7,7 тис	Близько 2,9 тис
Виконано заявок на виявлення та усунення радіозавад від РЕЗ:		
— користувачів РЧР України;	1151	1106
— адміністрацій зв'язку інших країн	13	8
Радіоконтроль за дорученням вищих органів	101	101

Отже, лівова частка (понад 98,7%–99%) від загального обсягу робіт, виконуваних підрозділами радіоконтролю, припадає на роботи з проведення *вимірювань параметрів випромінювань РЕЗ*, виконуваних із заздалегідь узгодженими планами.

Завдання з розробки загального плану, що забезпечує максимальну ефективність, доволі неоднозначне й залежне від багатьох чинників [11]:

- обсягу, складу та змісту розв'язуваних завдань;

- потужності, оптимальності топології та структури СРЧМ;

- технічних можливостей і стану технічних засобів, використовуваних у СРЧМ;

- можливості оперативного ухвалення рішень за результатами робіт, виконаних різними РПРМ і СРМ (РКП);

- доступності та оперативності отримання необхідної інформації;

- наявності та кваліфікації персоналу, задіяного для виконання робіт, тощо.

Вихідні дані для планування проведення робіт такі:

- база даних присвоєнь радіочастот;

- нормативні документи, що визначають завдання служби радіомоніторингу та порядок використання РЧР;

- міжнародні угоди та нормативні документи щодо порядку використання радіочастот у прикордонних зонах;

● договори з користувачами РЧР на проведення робіт із радіоконтролю (орієнтовну форму договору на виконання робіт із радіоконтролю наведено в дод. Д);

● запити користувачів РЧР на усунення радіозавад у смугах частот роботи їхніх РЕЗ;

● запити органів радіоінспектування;

● запити органів державного регулювання у сфері користування РЧР на виконання робіт із оцінювання використання РЧР;

● запити міжнародних органів у сфері використання РЧР;

● запити адміністрацій зв'язку інших країн тощо.

За рівнем проведення планування розрізняють:

● централізоване планування із ЦУ АСРМ для РПРМ;

● децентралізоване планування, здійснюване безпосередньо в РПРМ.

При цьому для оптимізації розподілу часових ресурсів РПРМ визначається та частина загального ресурсу часу, яку можна витратити на виконання завдань централізованого радіоконтролю (практично ця частка часу коливається від 15 до 25%), а також та частина, яку можна відвести для розв'язування завдань децентралізованого планування РПРМ. Планування робіт має забезпечувати раціональний розподіл робочого часу кожної СРМ.

За глибиною планування розрізняють:

● річне планування;

● кварталне планування;

● щомісячне планування;

● щоденне планування.

На підставі централізованого та децентралізованого річних планів, з урахуванням поточних змін БД присвоєнь радіочастот і завдань на виконання робіт із моніторингу спектра (оцінювання зайнятості смуг частот) РПРМ здійснює щомісячне планування робіт.

За змістом виконуваних завдань розрізняють планування:

● робіт із виконання радіоконтролю;

● робіт із виявлення та усунення дії радіозавад;

● робіт із проведення моніторингу спектра;

● дослідницьких робіт.

Єдиного рецепту щодо складання (формування) планів проведення робіт із радіомоніторингу не існує. Тому можна запропонувати лише типову послідовність процедур формування плану виконання робіт, скажімо, таку.

1. Складання повного переліку завдань, які необхідно розв'язати, з урахуванням потреби проведення робіт із моніторингу спектра.

2. Розподіл обсягу завдань за категоріями засобів радіомоніторингу (стаціонарні, мобільні СРМ, спеціалізовані станції технічного радіоконтролю, портативні та переносні засоби).

3. Визначення пріоритетів у виконанні тих чи інших завдань.

4. Уточнення можливостей СРЧМ із урахуванням реального стану роботоздатності та продуктивності існуючих і нових (планованих до введення в експлуатацію протягом розглядуваного періоду) засобів радіомоніторингу.

Загалом планування робіт із радіоконтролю здійснюється з урахуванням переліку та періодичності виконання робіт. Як приклад у табл. 9.16 наведено перелік та періодичність виконання планових робіт із радіоконтролю РЕЗ кількох найбільш поширених радіотехнологій, що їх прийнято в УДЦР.

Планування робіт із радіоконтролю здійснюється з урахуванням наведених у табл. 9.17 переліку та періодичності виконання робіт із моніторингу спектра, пошуку та усунення дії радіозавад.

Таблиця 9.16

Перелік і періодичність виконання планових робіт із радіоконтролю

Найменування радіотехнології	Одиниця радіоконтролю	Періодичність
Цифровий стільниковий зв'язок стандартів GSM900, DCS1800	Базова станція (БС)	Один раз на місяць
Цифровий стільниковий зв'язок стандартів GSM900, DCS1800 у режимі <i>frequency hopping</i>	»	Те саме
Цифровий стільниковий зв'язок стандартів CDMA800, CDMA2000, IMT-2000	»	»
Цифровий та аналоговий транкінговий зв'язок	Дуплексна пара частот БС	»
Радіозв'язок берегових станцій	Номінал частоти	»
Звукове мовлення	Передавач (РЕЗ)	»
Телевізійне мовлення	»	»
Мультимедійний, мультисервісний радіодоступ	БС, ретранслятор	»
Радіорелейний зв'язок	РЕЗ	»

Таблиця 9.17

Перелік і періодичність виконання планових робіт із моніторингу спектра, пошуку та усунення дії радіозавад

№ з/п	Найменування робіт	Одиниця робіт	Періодичність
1	Оцінювання зайнятості смуги частот	Смуга частот	На запит
2	Моніторинг дотримання радіоаматорами діючих мереж міжнародних рекомендацій щодо дисципліни радіообміну	Смуга частот	Один раз на місяць
3	Моніторинг відсутності радіозавад на міжнародних частотах «Біди»	Номінали частот	Щоденно
4	Моніторинг випромінювань у смугах частот роботи передавачів радіомовної служби сусідніх з Україною держав у прикордонній зоні	Смуга частот	Один раз на 3 місяці
5	Моніторинг випромінювань у смугах частот роботи передавачів мереж зв'язку сусідніх з Україною держав у прикордонній зоні	Смуга частот	»

На практиці перші дві процедури — складання повного переліку завдань і розподіл їх між категоріями засобів радіомоніторингу (стаціонарні СРМ, МСРМ загального призначення, спеціалізовані мобільні станції радіоконтролю мереж стільникового зв'язку та ШРД, ССТК і портативні засоби) суміщаються. Пропозиції щодо розподілу радіотехнологій за переліченими категоріями засобів радіомоніторингу наведено раніше.

Процедура розподілу РЕЗ полягає ось у чому.

1. Для радіотехнологій, що належать до першої групи:

- для кожного стаціонарного РКП визначається повний перелік РЕЗ, охоплених радіоконтролем, і здійснюється розподіл ресурсу часу з урахуванням необхідної періодичності (часових нормативів) виконання робіт;

- визначається перелік РЕЗ, не охоплених радіоконтролем стаціонарними засобами (розміщених як у межах їхніх зон радіодоступності, так і поза ними у зоні відповідальності РПРМ) і здійснюється розподіл ресурсу часу з урахуванням необхідної періодичності виконання робіт та продуктивності МСРМ загального призначення.

2. Для радіотехнологій другої групи (стільниковий зв'язок, ДЕСТ, багатоканальне наземне телевізійне та звукове мовлення):

- визначається загальна кількість БС і передавачів, що підлягають радіоконтролю;

- здійснюється розподіл РЕЗ між спеціалізованими МСРМ із урахуванням їхньої продуктивності, складності робіт та часу, необхідного на проїзд до місць проведення вимірювань і назад.

3. Для радіотехнологій третьої групи (РЕЗ широкосмугового, мультимедійного та мультисервісного радіодоступу):

- визначається загальна кількість РЕЗ, що підлягають радіоконтролю;

- здійснюється розподіл РЕЗ між ланками підрозділів радіоконтролю з урахуванням наявності необхідного обладнання, часу, що відводиться на виконання завдань із пошуку радіозавод і ПДН, складності робіт, необхідності залучення МСРМ загального призначення для доставляння обладнання, а також часу, необхідного для проїзду до місць проведення вимірювань і назад.

4. Для радіотехнологій четвертої групи, радіоконтроль випромінювань яких вимагає застосування вимірювальних засобів загального призначення:

- визначається загальна кількість РЕЗ, що підлягають радіоконтролю;

- здійснюється розподіл загального обсягу завдань між ланками, оснащеними необхідним обладнанням, із урахуванням часу, що відводиться для виконання завдань із пошуку радіозавод і ПДН, складності робіт, а також часу, необхідного на проїзд до місць проведення вимірювань і назад, а також на розгортання та згортання обладнання.

Для забезпечення ефективного використання спеціалізованих мобільних станцій та МСРМ загального призначення розробляються типові маршрути руху з визначенням конкретних завдань із радіоконтролю для кожного маршруту.

При визначенні пріоритетів виконання завдань та плануванні робіт необхідно враховувати:

- наявність завдань із централізованого радіоконтролю, виконання яких обов'язкове (невідкладне);

- обсяг децентралізованих планових завдань, виконання яких обов'язкове (невідкладне);

- децентралізовані планові завдання, виконання яких можна перенести;

- прогнозований обсяг позапланових завдань (за результатами виконання робіт у попередньому році) з урахуванням необхідності резерву для виконання позапланових оперативних завдань або робіт у позаробочий час.

Розставлення завдань за пріоритетами дозволяє оптимізувати завдання та план радіоконтролю. При цьому можна керуватися такими рекомендаціями.

1. Великі індустріально розвинені міста характеризуються високою щільністю розміщення різноманітних РЕЗ, що призводить до значного ускладнення електромагнітної обстановки, а отже, до підвищеної ймовірності

появи радіозавад. Тому нерідко пріоритет завдання з періодичного моніторингу спектра та контролю за станом електромагнітної обстановки може виявитися вищим за пріоритет завдання з контролю радіовимірювань.

2. Як показує аналіз, найчастіше поява радіозавад зумовлюється порушенням правил експлуатації або умов виданих ліцензій (дозволів на експлуатацію) потужних передавачів звукового мовлення (збільшення девіації частоти та потужності модуляції) та РЕЗ УКХ діапазону.

3. Окрім щойно зазначених випадків появи радіозавад найчастіше останні спостерігаються в діапазонах (піддіапазонах, смугах) частот, де функціонують нові радіотехнології. З огляду на це потрібно приділяти більш пильну увагу саме цим діапазонам (смугам) частот.

4. При розробці плану радіоконтролю необхідно також урахувати, що наявність і характеристики радіозавад залежать від пори року, часу доби й навіть дня тижня.

Час, необхідний для виконання завдань позапланового радіоконтролю, прогнозується для кожного завдання окремо з урахуванням кількості зареєстрованих завдань, пріоритетності їх виконання, складності та обсягу робіт, технічних можливостей використовуваних засобів та інших чинників (зокрема — досвіду роботи з планування).

9.9.2. Організація виконання робіт із моніторингу спектра

Як уже неодноразово зазначалося раніше, роботи з моніторингу спектра виконуються, переважно, із використанням стаціонарних засобів, що зумовлюється необхідністю проведення тривалих спостережень в аналізованих смугах частот, реалізація яких за допомогою мобільних засобів призводить до значних непродуктивних витрат часових ресурсів СРЧМ. Роботи з моніторингу спектра організовуються на основі планових і/або позапланових завдань, заявок про наявність радіозавад, запитів підрозділів, які забезпечують планування та розподіл РЧР, на проведення перевірки розрахункових умов ЕМС, а також державних і міжнародних органів регулювання у сфері використання РЧР і органів регулювання інших країн.

Згідно з визначеною в чинних нормативних документах періодичністю підрозділи радіоконтролю здійснюють планові заходи, що мають на меті:

- оцінювання зайнятості смуг частот, визначених завданнями;
- контроль за дотриманням радіоаматорами діючих мереж міжнародних рекомендацій щодо дисципліни радіообміну;
- моніторинг наявності/відсутності радіозавад на міжнародних частотах «Біди»;
- моніторинг випромінювань у смугах частот роботи передавачів радіомовної служби сусідніх з Україною держав у прикордонній зоні;
- моніторинг випромінювань у смугах частот роботи передавачів мереж стільникового зв'язку сусідніх з Україною держав у прикордонній зоні.

9.9.3. Організація робіт із проведення планового радіоконтролю

Виконання робіт із радіоконтролю, моніторингу спектра, пошуку та усунення дії радіозавад у зонах відповідальності РПРМ покладається на відповідні підрозділи РПРМ. Як уже зазначалося, радіоконтроль може організовуватися на підставі планових або позапланових завдань, договорів із користувачами РЧР, заявок користувачів РЧР про наявність радіозавад для РЕЗ, а також у разі виявлення під час моніторингу спектра порушень у сфері використання РЧР.

Радіоконтроль у РПРМ здійснюється зазвичай із використанням:

- стаціонарних засобів у зоні їх радіодоступності;
- багатофункціональних МСРМ;
- портативного (переносного) обладнання.

За результатами виконання робіт із радіоконтролю складаються протоколи інструментального оцінювання параметрів випромінювання РЕЗ (ВП) у форматах, визначених функціональним програмним забезпеченням СРМ і засобів радіоконтролю, до яких додаються спектрограми виконаних вимірювань. У протоколах неодмінно має міститися така інформація (орієнтовну форму протоколу інструментального оцінювання наведено в дод. Е в перекладі російською мовою):

1. Дата, час та тривалість виконання завдання.
2. Назва (або умовне позначення) засобу радіоконтролю, за допомогою якого виконано вимірювання.
3. Місце проведення робіт.
4. Номер дозволу на експлуатацію та назва господаря РЕЗ.
5. Місцезнаходження (по змозі — географічні координати) РЕЗ (ВП) та найменування радіотехнології.
6. Результати виконаних вимірювань параметрів випромінювання РЕЗ (ВП) (частота, ширина смуги частот, відхилення частоти, девіація частоти (для ЧМ-сигналів), рівень напруженості електромагнітного поля, клас випромінювання), спектрограма аналізованого радіовипромінювання.
7. Висновки за результатами проведення радіоконтролю.
8. Прізвище оператора, який виконував вимірювання.
9. Інша інформація, що характеризує умови проведення робіт.

Якщо знадобиться перевірка відповідності географічних координат заявленим адресам місць розташування РЕЗ, то ця процедура реалізується з використанням приймачів GPS та електронних карт.

За результатами аналізу даних інструментального оцінювання параметрів випромінювання РЕЗ (ВП):

- розробляються узагальнені пропозиції та рекомендації щодо забезпечення виконання основних завдань із радіомоніторингу;
- здійснюється оцінювання стану ЕМО в місцях експлуатації РЕЗ для забезпечення виконання заданих умов ЕМС РЕЗ;
- проводяться роботи з виявлення та усунення дії завад;
- виявляються порушення у сфері використання РЧР.

9.9.4. Організація позапланових робіт із радіоконтролю

Вочевидь, конкретні роботи, що належать до цієї категорії, не можна передбачити щорічними та щомісячними планами.

Позаплановий радіоконтроль може бути організовано з метою:

1) задоволення запитів адміністрації зв'язку та державних органів у сфері регулювання використання РЧР щодо оцінювання зайнятості смуг спектра, а також проведення заходів у рамках міжнародної співпраці з питань використання РЧР;

2) задоволення запитів підрозділів системи планування та розподілу РЧР щодо перевірки виконання умов ЕМС РЕЗ для видачі дозволів на експлуатацію (присвоєння радіочастот);

3) реалізації заходів з пошуку та усунення дії радіозавод радіозасобам громадян (радіозавод прийманню програм телевізійного та звукового мовлен-

ня), РЕЗ користувачів РЧР, а також РЕЗ, розміщеним на територіях сусідніх держав, із боку «своїх» РЕЗ;

4) перевірки дотримання користувачами РЧР тимчасової заборони (обмежень) на використання радіочастот, упроваджуваних згідно із законодавством, а також для здійснення відповідних заходів у рамках реалізації міжнародних програм із радіомоніторингу;

5) контролю функціонування та якості виконання робіт із радіомоніторингу РПРМ та окремими РКП із боку ЦПУ АСРМ.

Позаплановий радіоконтроль організовується на підставі письмових доручень (резольцій на вхідних документах). Завдання на проведення позапланового радіоконтролю реєструються в журналах обліку завдань позапланового радіоконтролю. У завданні має бути зазначено:

- конкретний вид робіт (пошук радіовипромінювання, виконання інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювання, проведення моніторингу спектра тощо);

- місце проведення робіт та терміни їх виконання;
- контрольовані смуги частот;
- перелік параметрів, що підлягають оцінюванню;
- форму звітності;
- засоби радіомоніторингу, що залучаються для забезпечення виконання робіт.

Якщо постає необхідність виконати нестандартні роботи (здійснити радіоконтроль у смугах частот понад 3 ГГц, радіоконтроль нових радіотехнологій) або виникнуть конфліктні ситуації з користувачами РЧР, то для розв'язання відповідних завдань можуть залучатися фахівці та обладнання технічної служби радіомоніторингу.

9.9.5. Обробка результатів і підготовка звітних документів

За рівнем та часом організації обробка результатів (даних) виконання робіт із радіомоніторингу поділяється на *первинну* та *остаточну*.

Первинна обробка здійснюється:

- безпосередньо на місці виконання робіт за інструментальним оцінюванням параметрів радіовипромінювань із використанням мобільних і/або портативних (переносних) засобів (первинну обробку даних централізованого радіоконтролю виконує персонал ЦПУ АСРМ);

- після завершення виконання завдань із радіоконтролю і/або моніторингу спектра стаціонарними засобами на обслуговуваних РКП у разі роботи СРМ у автономному режимі та на ПУ РПРМ (ЦПУ АСРМ) у разі роботи СРМ у режимі дистанційного управління.

Первинна обробка включає в себе:

- формування спектрограм, отриманих у процесі проведення радіоконтролю параметрів радіовипромінювання та оцінювання зайнятості смуг РЧС;
- аналіз отриманих спектрограм з погляду достатності (повноти) та об'єктивності отриманих даних;
- підготовку узагальнених даних;
- попередню перевірку наявності аналізованого РЕЗ у БД частотоприсвоєнь (БД ЧП).

Етап первинної обробки закінчується реєстрацією результатів радіомоніторингу на сервері БД (БД радіообстановки). Облік і зберігання результатів радіомоніторингу необхідні через те, що може знадобитися:

- проведення детального аналізу статичного стану та динаміки змін ЕМО в будь-якому районі (на певній території) протягом тривалих інтервалів часу для визначення ступеня використання РЧР;

- проведення детального аналізу динаміки змін параметрів радіовипромінювання деякого конкретного РЕЗ протягом певного інтервалу часу в разі виявлення невідповідності його дозволеним значенням та з'ясування причин такої невідповідності;

- підтвердження претензій органів радіомоніторингу до частотокористувача в разі виявлення порушень порядку й правил користування РЧР, що призвело до виникнення конфліктних ситуацій, і т. ін.

Остаточна обробка передбачає проведення ретельної перевірки відповідності параметрів аналізованого радіовипромінювання наявній БД частотприсвоєнь, а також заявленим значенням чи вимогам нормативних документів із подальшою підготовкою узагальнених результатів і звітної документації за встановленою формою.

Часові нормативи на підготовку й надання звітів про виконані роботи від підлеглих підрозділів (РПРМ), а також форми цих звітів визначаються установчими документами органу, який здійснює радіомоніторинг (відповідними інструкціями, положеннями тощо). Окрім обов'язкової інформації у звіті можуть також міститися відомості про особливості виконання вимірювань та інші коментарі, що їх оператор радіоконтролю або особа, відповідальна за формування звіту, вважатиме за потрібне внести. При цьому терміни надання інформації за результатами проведення робіт із радіоконтролю та пошуку/усунення дії радіозавад можуть бути різними, а терміни подання інформації про результати робіт із радіомоніторингу спектра можуть визначатися відповідними запитами.

В автоматизованих системах поряд із передаванням звітних документів до вищих органів в електронному вигляді (із використанням каналів обміну даними між ПУ РПРМ і ЦПУ АРСМ), здійснюється їх дублювання на паперових носіях.

Документування результатів робіт із радіомоніторингу відбувається згідно з вимогами чинних нормативно-правових документів, що визначають порядок у діловодстві. Облік і зберігання результатів робіт здійснюються у форматі програмного забезпечення сервера БД радіомоніторингу.

Інформація про виконані роботи може не лише подаватися у вигляді звітів державним органам у сфері частотного менеджменту, а й надаватися індивідуальним користувачам РЧР на їхні запити про наявність радіозавад у смугах частот роботи їхніх РЕЗ, а також на підставі укладених із ними договорів на проведення робіт із радіоконтролю. В останньому випадку форми подання звітних матеріалів установлюються за взаємним узгодженням із кожним користувачем окремо.

9.10. Система радіомоніторингу УДЦР

9.10.1. Побудова системи радіомоніторингу УДЦР

Історія радіомоніторингу в Україні бере початок 1934 року, коли було розгорнуто Київський пункт технічного радіоконтролю (ПТРК). Його функції полягали в проведенні контролю засобів радіомовлення і зв'язку щодо дотримання ними правил ведення радіозв'язку, а також у вимірюванні рівнів напруженості електромагнітних полів. У 1950 році Київський ПТРК

перебазувався на 15 км Брест-Литовського проспекту (нині — проспект Перемоги), а в грудні 1951 року поновив своє функціонування [129].

У 2004 році згідно із Законом України «Про радіочастотний ресурс України» [1] зазначений ПТРК було перейменовано на Державне підприємство «Український державний центр радіочастот».

Загалом на кінець 2003 року в складі СРЧМ УДЦР налічувалося 66 стаціонарних РКП і 30 мобільних станцій радіоконтролю. Радіоконтролем із застосуванням стаціонарних СРМ було охоплено:

- усі 6 міст із населенням від 200 тис. до 3 млн чоловік;
- 9 із 16 міст із населенням від 100 до 200 тис.;
- 19 із 102 міст із населенням від 30 до 100 тис.

В усіх 60 містах (за винятком Києва і Одеси) було розгорнуто по одному стаціонарному РКП, оснащеному станціями РМ-170, РМ-172 або «ИРГА» (у Києві було розгорнуто два стаціонарні РКП, оснащені СРМ РМ-170).

До початку 2003 року в УДЦР було розроблено документ, що дістав назву «Концепція створення системи радіочастотного моніторингу Українського державного центру радіочастот і нагляду за зв'язком» (Центр «Укрчастотнагляд») і визначив стратегію розвитку радіомоніторингу в смугах частот загального користування в Україні на найближчі кілька років, передбачивши побудову системи радіомоніторингу переважно за рахунок засобів державного бюджету України й коштів Центру «Укрчастотнагляд».

Концепція містила в собі вісім розділів.

Розділ 1. Загальні положення.

Розділ 2. Сучасний стан нагляду за використанням радіочастотного ресурсу в Україні.

Розділ 3. Мета створення та завдання системи радіочастотного моніторингу Центру «Укрчастотнагляд».

Розділ 4. Основні принципи побудови системи радіочастотного моніторингу.

Розділ 5. Етапи побудови системи радіочастотного моніторингу.

Розділ 6. Нормативно-правове і фінансове забезпечення побудови системи радіочастотного моніторингу.

Розділ 7. Технічне забезпечення побудови системи радіочастотного моніторингу.

Розділ 8. Очікувані наслідки реалізації Концепції створення системи радіочастотного моніторингу (далі — Концепція).

Головні завдання СРЧМ було сформовано так:

- визначення реального стану зайнятості та наявності придатного для використання РЧР;
- проведення технічного радіоконтролю;
- усунення випадків виникнення електромагнітних завад, надання рекомендацій з усунення або зниження рівня радіозавад до припустимого рівня;
- підтримання програм міжнародного радіомоніторингу.

В організаційному плані вимоги до структури АСРМ повністю відповідали вимогам до аналогічних систем радіомоніторингу, про які йшлося раніше.

З огляду на великий обсяг робіт, тривалість їх виконання і необхідність значних фінансових витрат було передбачено поетапну реалізацію проекту.

На *першому етапі* потрібно було визначити технічні вимоги як до СРЧМ загалом, так і до ЦУ СРЧМ та кожної РПРМ зокрема, а також розробити Проект побудови СРЧМ.

Другий етап передбачав створення фрагмента ЦУ СРЧМ і дослідних фрагментів РПРМ, а також розв'язання питань взаємодії між ними та ЦУ СРЧМ.

Третій етап мав стати періодом еволюційного переходу до нової структури СРЧМ.

Четвертий етап мав забезпечити розвиток і завершення побудови інфраструктури СРЧМ.

Кінцевими цілями реалізації Концепції було визначено:

- істотне підвищення ефективності використання обмеженого РЧР України за рахунок з'ясування реального стану зайнятості РЧР і можливості подальшого перерозподілу його між радіослужбами й користувачами РЧР;

- забезпечення відповідності стану та темпів розвитку галузі телекомунікацій України сучасному світовому рівню;

- належне спільне функціонування РЕЗ за рахунок усунення (або мінімізації) випадків виникнення неприпустимих радіозавад на різних рівнях;

- упровадження нових видів і послуг зв'язку та нових інформаційних технологій в усі сфери життя й діяльності суспільства;

- розвиток чинних і впровадження у сферу національних телекомунікацій України нових стандартів і радіотехнологій згідно з національними інтересами України та документами з міжнародного співробітництва в галузі зв'язку;

- більш оперативне здійснення заходів із міжнародно-правового захисту інтересів держави та її громадян у сфері телекомунікацій;

- підвищення інформаційного суверенітету України завдяки впровадженню досконаліших методів і засобів державного нагляду за використанням РЧР.

Як критерій ухвалення рішення про необхідність і доцільність розгортання стаціонарних РКП застосовувався критерій кількості РЕЗ, які працюють у смузі частот від 30 МГц до 3 ГГц (смуга частот, яка охоплюється радіоконтролем стаціонарними засобами) і розташовуються (згідно з відомостями із БД обліку присвоєнь радіочастот) у межах конкретного населеного пункту.

Як параметр було взято оцінку щільності розподілу РЕЗ на тисячу чоловік населення.

За результатами проведеного аналізу було визначено, що в середньому в Україні кількість РЕЗ у зазначеній смузі частот із розрахунку на 1 тис. чоловік становить для міст:

- із населенням понад 800 тис. — 2,6...4,5;
- із населенням від 300 до 800 тис. — 2,4...3,0;
- із населенням від 100 до 300 тис. — 3,0...4,0;
- із населенням від 30 до 100 тис. — 1,5...2,2.

З урахуванням перспектив розвитку сфери телекомунікацій в Україні, можливостей УДЦР і оцінки СРЧМ за критерієм ефективність/вартість було ухвалено рішення про розгортання РКП у містах, населення яких перевищує 100–120 тис.

Для технічного забезпечення побудови АСРМ у 2003 році фахівці ТОВ «Спецвузавтоматика» за сприяння УДЦР розробили:

- дослідний зразок автоматизованого вимірювально-пеленгаційного комплексу АИК-С (із функцією пеленгування);
- АРМ управління автоматизованою системою РС-157Р на базі АРМ обробки та управління РС-157;
- АРМ автоматизованої системи інформаційного та розрахунково-аналітичного забезпечення робіт із частотними присвоєннями та частотоко-ристувачами РС-135Р.

Зокрема, АРМ РС-157Р має забезпечувати:

1) підготовку й видачу завдань на проведення радіоконтролю та моніторингу спектра для стаціонарних РКП і МСРМ, що входять до складу РПРМ;

2) отримання інформації за результатами радіомоніторингу від стаціонарних РКП;

3) оброблення результатів, у тому числі розрахунок географічних координат ДРВ для проведення синхронного пеленгування;

4) моніторинг (перевірку роботоздатності) обладнання стаціонарних СРМ і каналів зв'язку;

5) збирання та зберігання результатів радіомоніторингу в БД радіо-обстановки;

6) відображення результатів виконання завдань (спектрограм сигналів, виміряних значень параметрів радіовипромінювання, пеленгів і розрахованих значень географічних координат ДРВ) на екрані дисплея АРМ.

У процесі обробки результатів виконання завдань стаціонарними засобами на АРМ РС-135Р покладається:

1) планування завдань для стаціонарних РКП у складі РПРМ;

2) супровід і зберігання адміністративних і технічних даних про частотні присвоєння та РЕЗ, розташовані в зоні відповідальності РПРМ;

3) моніторинг функціонування АРМ РС-157Р за допомогою формування та перевірки виконання контрольних завдань;

4) формування звітних документів за результатами радіомоніторингу згідно з визначеними формами;

5) підготовка завдань із моніторингу (контролю) функціонування окремих РКП, що входять до складу автоматизованої РПРМ;

6) розрахунок зон радіопокриття РЕЗ.

Структуру взаємодії АРМ РС-135Р і АРМ РС-157Р унаочнює рис. 9.42.

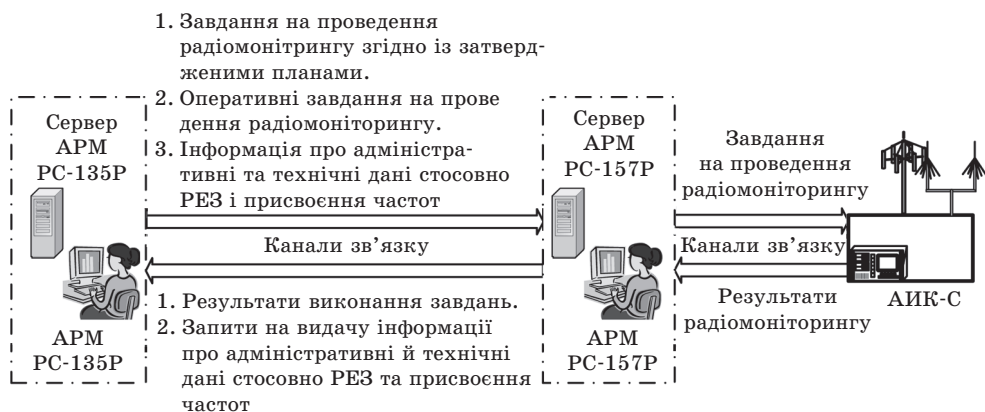


Рис. 9.42. Структура взаємодії АРМ РС-135Р і АРМ РС-157Р

Програмне забезпечення АРМ РС-135Р дозволяє здійснювати планування практично на будь-який інтервал часу (хоча на практиці обмежуються складанням планів на місяць). Реплікації плану у вигляді завдань на виконання конкретних операцій протягом доби передаються на комплекси АИК-С. Після виконання завдання результати (у вигляді файлів вимірних значень параметрів радіовипромінювань, спектрограм і/або пеленгів) передаються на АРМ РС-157Р, де здійснюється їх вторинне оброблення (узагальнення, ідентифікація радіовипромінювань і РЕЗ, а також розрахунок прогнозованих географічних координат місцезнаходження ДРВ, якщо поставлено завдання на проведення синхронного пеленгування). Для здійснення ідентифікації радіовипромінювань і ДРВ АРМ РС-157Р формує запит до БД обліку РЕЗ, що зберігаються на сервері АРМ РС-135Р, стосовно видачі інформації про адміністративні дані та технічні параметри РЕЗ. Результати виконаних робіт можуть реєструватися та зберігатися в БД радіообстановки сервера АРМ РС-157Р.

Для управління системою радіомоніторингу на ЦПУ АСРМ було розгорнуто АРМ управління регіональними підсистемами радіомоніторингу РС-157У і АРМ планування радіоконтролю РС-135У.

Структуру взаємодії АРМ ЦПУ АСРМ і ЦРМ ілюструє рис. 9.43.

1. Завдання на проведення радіомоніторингу згідно із затвердженими планами.
2. Оперативні завдання на проведення радіомоніторингу.
3. Інформація про адміністративні та технічні дані стосовно РЕЗ і присвоєння частот



Рис. 9.43. Структура взаємодії АРМ ЦПУ АСРМ і ЦРМ

У червні 2004 року функціонування створеного фрагмента системи радіомоніторингу УДЦР було продемонстровано учасникам 2-го Міжнародного семінару з радіочастотного моніторингу, проведеного МСЕ в м. Києві на базі Центру «Укрчастотнагляд».

За позитивними результатами дослідної експлуатації створеного фрагмента було розгорнуто повноцінну РПРМ у м. Одесі на базі Державної інспекції електрозв'язку УДЦР по Одеській області.

На кінець 2005 року до складу СРЧМ Центру «Укрчастотнагляд» входило вже 48 мобільних станцій і 68 стаціонарних СРМ, 23 з яких становили нові СРМ типу АИК-С, що функціонували у складі АСРМ-1010, а загальна зона радіодоступності стаціонарних РКП охоплювала до 20% РЕЗ у діапазоні до 3 ГГц (для порівняння — до 2003 року радіоконтролем стаціонарними засобами в Україні було охоплено не більш як 7% РЕЗ).

До середини 2006 року було завершено побудову РПРМ у філіях, у результаті чого в кожній філії було розгорнуто щонайменше два стаціонарні РКП, оснащені комплексами АИК-С і ПУ РПРМ (у складі АРМ РС-157Р і АРМ РС-135Р).

На кінець 2006 року кількість МСРМ досягла 53 одиниць, а стаціонарних СРМ-102, з яких 51 СРМ функціонувала у складі АСРМ УДЦР. До кінця 2007 року кількість МСРМ різного призначення збільшилася до 69, а стаціонарних — до 169, з яких 95 працювали у складі АСРМ.

9.10.2. Сучасний стан розвитку системи радіомоніторингу УДЦР

За станом на кінець 2008 року на оснащенні АСРМ УДЦР перебувало:

- 76 автоматизованих вимірювально-пеленгаційних комплексів типу АИК-С;
- 33 автоматизовані комплекси технічного радіоконтролю (ТРК) типу АИК-СП;
- 27 комплектів КМС UMS100;
- 6 багатофункціональних комплексів радіомоніторингу РМ-2500Р.

На кінець 2010 року за кількістю стаціонарних і мобільних (рухомих) засобів і рівнем охоплення радіоконтролем РЕЗ, які працюють у смугах радіочастот загального призначення, СРЧМ УДЦР являла собою одну з найпотужніших систем радіомоніторингу в Європі [134]. За станом на 01.04.2010 року в складі СРЧМ УДЦР налічувалося:

- 224 стаціонарні СРМ, розгорнуті на 160 РКП у 97 містах України, у тому числі:
 - 55 обслуговуваних СРМ;
 - 69 СРМ, що не обслуговуються і працюють в режимі дистанційного управління;
 - 118 мобільних станцій.

Із 224 стаціонарних СРМ 180 інтегровані до складу АСРМ, у тому числі:

- 87 СРМ забезпечують виявлення та вимірювання параметрів радіо-випромінювань у смузі частот до 3 ГГц і пеленгацію в смузі частот до 1 ГГц;
- 53 СРМ розв'язують завдання з радіоконтролю параметрів радіовипромінювань у смузі частот до 3 ГГц (автоматизовані комплекси ТРК типу АИК-СП);
- 40 КМС UMS100, які забезпечують радіомоніторинг у смузі частот від 30 МГц до 6 ГГц.

Із 118 мобільних станцій:

- 30 являють собою нові розробки мобільних станцій загального призначення сім'ї РМ-1300-2РЗ з верхньою межею смуги частот радіоконтролю до 3 ГГц і пеленгування — до 1 ГГц;

- 48 є спеціалізованими станціями радіоконтролю мереж стільникового зв'язку і ШРД сім'ї РМ-1300-РЗ/5;

- дві станції являють собою ССТК, верхня межа частоти радіоконтролю яких становить 40 ГГц;

- чотири належать до станцій сім'ї РМ-1-30, які призначено для розв'язання завдань радіоконтролю у КХ діапазоні;

- одна є мобільною станцією радіомоніторингу ММС1-УА.

Інші МСРМ загального призначення являють собою більш ранні розробки мобільних комплексів.

Організаційно сучасна система радіомоніторингу УДЦР представлена:

- управлінням радіочастотного моніторингу (як структурним підрозділом УДЦР);

- підрозділами радіоконтроля в 25 філіях УДЦР.

Технічну основу СРЧМ становить АСРМ, яка включає в себе:

- Центральний ПУ АСРМ у м. Києві;

- автоматизовану підсистему ДВЧ/УВЧ радіомоніторингу в м. Києві й Київській області;

- 25 РПРМ в 24 областях України та в м. Севастополі;

- стаціонарну станцію супутникового моніторингу в м. Києві;

- стаціонарну станцію КХ радіоконтролю в м. Києві.

Структурну схему АСРМ УДЦР зображено на рис. 9.44.

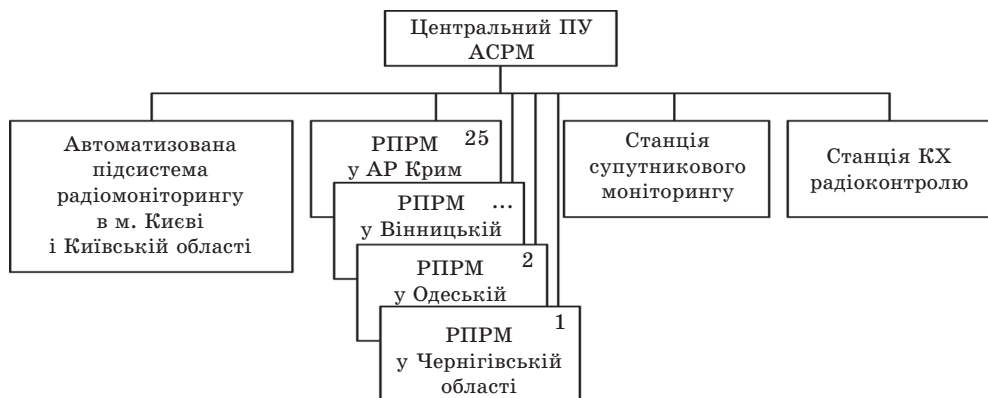


Рис. 9.44. Структурна схема АСРМ УДЦР

ЦПУ АСРМ забезпечує:

- формування завдань на проведення централізованого радіомоніторингу для РПРМ та віддалених РКП і вторинну обробку результатів їх виконання;

- супровід БД радіообстановки (результатів радіомоніторингу);

- періодичний моніторинг (контроль) функціонування РПРМ та віддалених РКП, здійснюваний за допомогою формування, поставлення контрольних завдань і перевірки результатів їх виконання;

- контроль виконання планів робіт РПРМ на місяць і на тиждень;

- щоденний контроль роботоздатності РКП;

- формування завдань на проведення радіоконтролю для стаціонарної станції радіоконтролю в КХ діапазоні, а також на обробку й зберігання результатів їх виконання;

- формування завдань на проведення радіомоніторингу (контролю випромінювань супутникових станцій і геолокації ЗССЗ) для стаціонарної станції супутникового моніторингу, а також на обробку й зберігання результатів їх виконання.

Склад і структуру взаємодії елементів ЦПУ АСРМ було розглянуто раніше.

Автоматизована підсистема ДВЧ/УВЧ радіомоніторингу в м. Києві і Київській області включає в себе:

- Головний РКП (ГРКП), що виконує, зокрема, функції ПУ підсистеми радіомоніторингу і оснащений АРМ РС-135Р, АРМ РС-157Р, КМС UMS100 і двома стаціонарними СРМ РМ-2500Р-01 (без функції пеленгування);

- п'ять стаціонарних РКП у м. Києві, оснащених вимірювально-пеленгаційними комплексами АИК-С (три з яких оснащено КМС UMS100);

- три РКП у м. Києві, оснащені КМС UMS100;

- два РКП (у містах Борисполі та Білій Церкві), оснащені вимірювально-пеленгаційними комплексами АИК-С;

- два віддалені РКП (у містах Обухові й Фастові), оснащені комплексами технічного радіоконтролю АИК-СП.

Із семи РКП, розташованих у м. Києві, шість функціонують у режимі дистанційного управління з ГРКП.

Зауважимо, що РКП в містах Борисполі та Білій Церкві функціонують у режимі автономного управління, РКП у містах Обухові та Фастові — у режимі дистанційного управління.

9.10.3. Структура інформаційної мережі УДЦР

Система радіочастотного моніторингу є невід'ємною складовою єдиної інформаційної мережі УДЦР і функціонує в тісній взаємодії із системою планування та розподілу РЧР, представленою підрозділами та програмними комплексами (ПК) розрахунку ЕМС управління радіочастотних присвоєнь УДЦР. Структуру діючої єдиної інформаційної мережі УДЦР наведено на рис. 9.45.

Нині система планування і розподілу РЧР УДЦР складається з п'яти ПК розрахунку ЕМС:

- радіомовної служби «Вещание»;
- фіксованої та супутникової служби «Арка»;
- рухомої служби «Весна»;
- децентралізованих (ДЦ) присвоєнь;
- ПК «ICS Telecom».

Усі ПК системи планування та розподілу РЧР і АРМ апаратно-програмних комплексів ГРКП інтегровано до єдиної ЛОМ центрального офісу УДЦР із розмежуванням доступу до різних підмереж.

До 2010 року чотири ПК («Вещание», «Арка» і ПК децентралізованих присвоєнь використовували чотири автономні БД, що значно ускладнювало розрахунки ВНС між різними радіослужбами, і унеможлилювали взаємодію з ПК СРЧМ. Упровадження наприкінці 2008 року в УДЦР ПК на базі ПК «ICS Telecom» спростило ситуацію. А наявність єдиної БД частотних «ICS Manager» забезпечило можливість взаємодії системи управління і частотного планування УДЦР з СРЧМ.

Одним із принципових питань організації ефективного функціонування СРЧМ є також забезпечення каналів зв'язку між такими об'єктами:

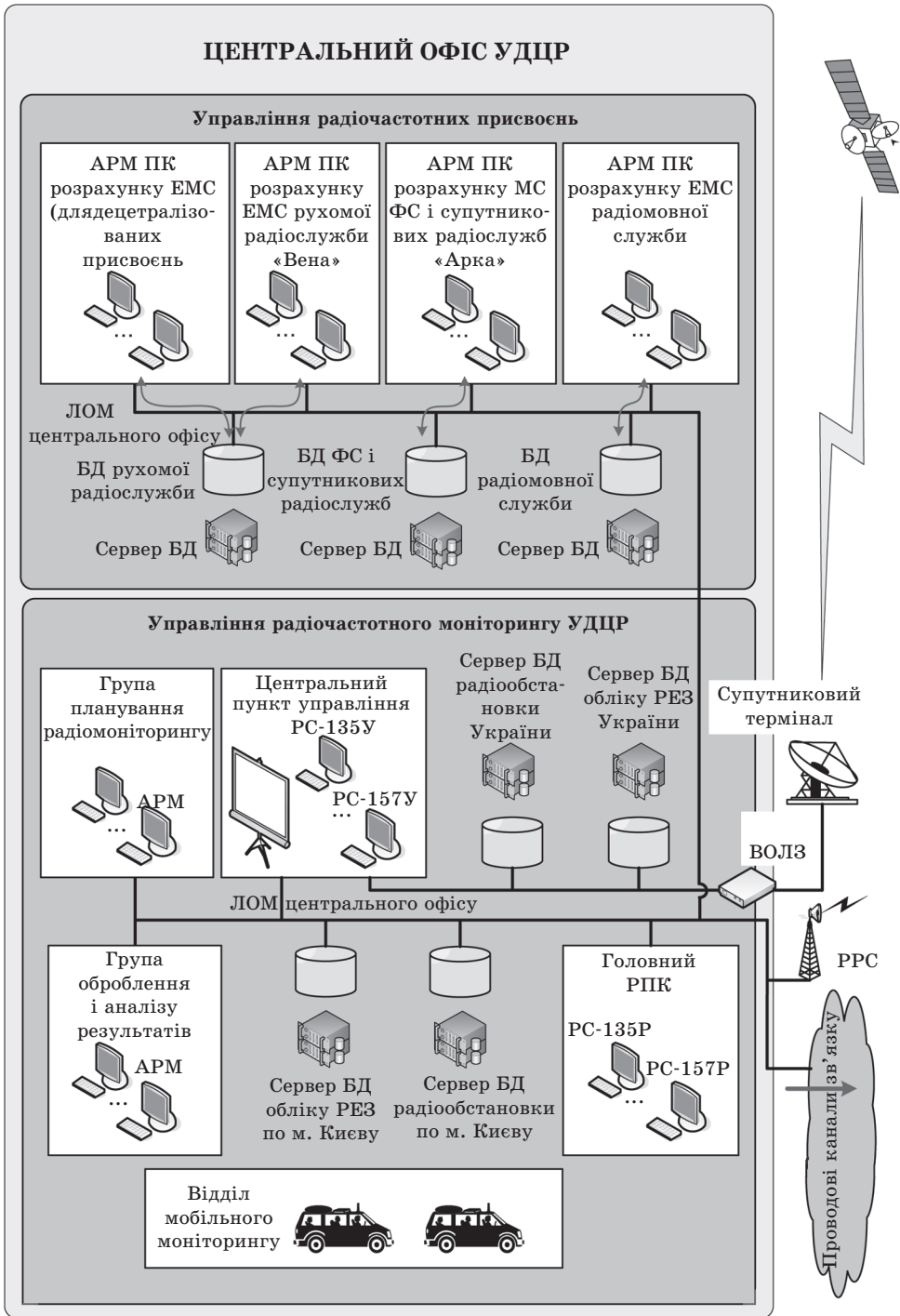


Рис. 19.45. Структура діючої єдиної інформаційної мережі УДЦР

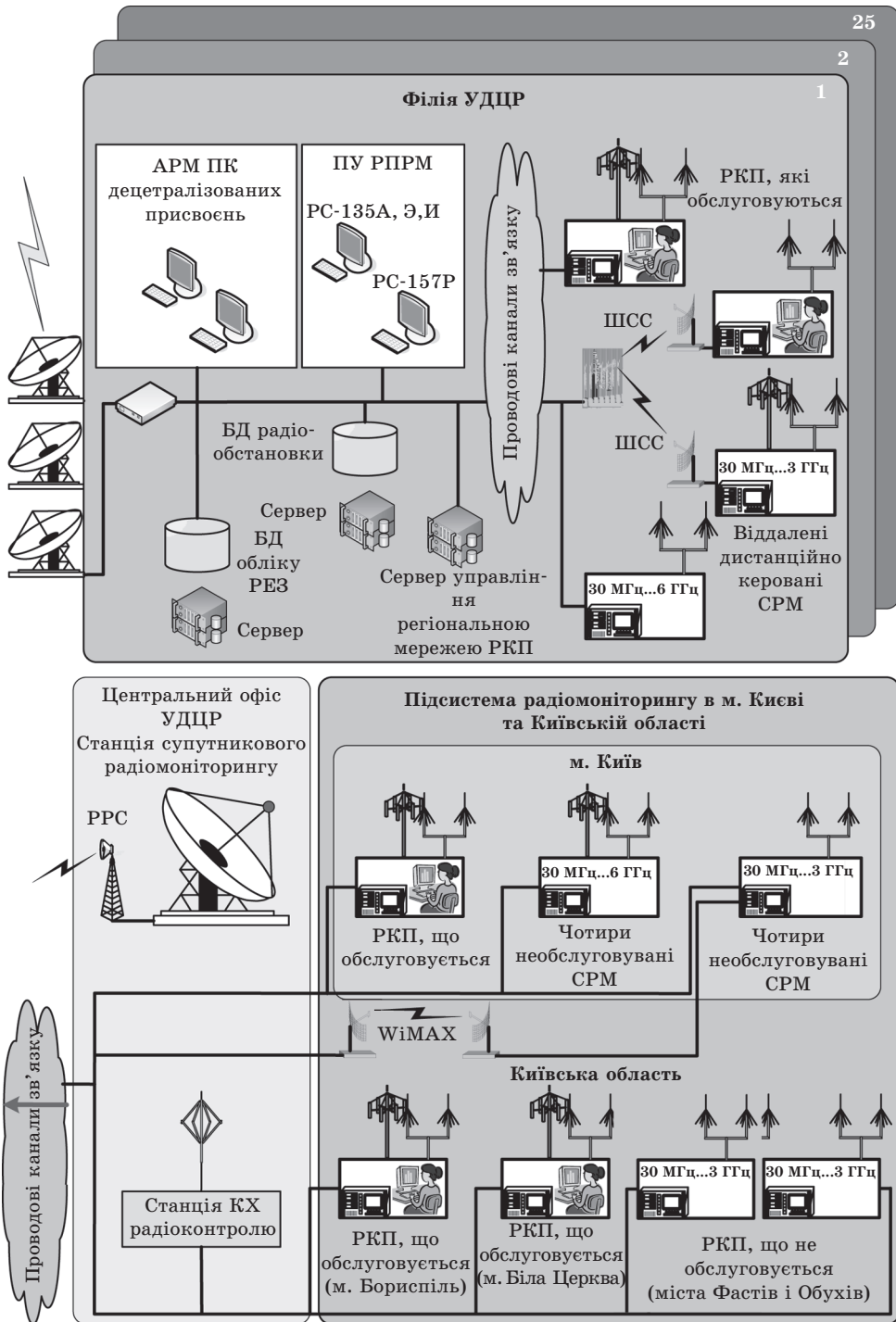


Рис. 10.45. Закінчення

- центральним офісом (зокрема, ЦПУ АСРМ) і регіональними підрозділами УДЦР (РПРМ);
 - офісами регіональних структур (ПУ РПРМ) і джерелами інформації (РКП);
 - ГРКП і віддаленими РКП підсистеми ДВЧ/УВЧ радіомоніторингу в м. Києві та Київській області;
 - ГРКП, ПУ РПРМ і мобільними станціями радіомоніторингу;
 - ЦПУ та підсистемами радіомоніторингу інших відомств.
- З огляду на розміри території України для організації взаємодії (передавання даних) між елементами СРЧМ УДЦР нині застосовуються:
- між ЦПУ АСРМ і РПРМ — супутникові канали (як основні канали зв'язку) і волоконно-оптичні канали зв'язку (як резервні);
 - у межах ЦПУ АСРМ — ЛОМ;
 - між ЦПУ АСРМ і станцією супутникового моніторингу — радіорелейна лінія зв'язку в піддіапазоні частот 38 ГГц;
 - між ЦПУ АСРМ і станцією КХ радіоконтролю — проводова лінія зв'язку;
 - між ГРКП і віддаленими РКП у м. Києві — радіо- (WiMAX у піддіапазоні частот 3,5 ГГц) та проводові канали зв'язку;
 - між ГРКП і віддаленими РКП, які входять до складу підсистеми ДВЧ/УВЧ радіомоніторингу в Київській області — проводові канали зв'язку (і канал супутникового зв'язку до РКП у м. Обухові);
 - між ПУ РПРМ та РКП, які входять до їхнього складу, — ШСС канали в піддіапазоні частот 2,4 ГГц та проводові канали.

9.10.4. Продуктивність засобів радіомоніторингу

Методика оцінювання ефективності функціонування СРЧМ щодо розв'язування завдань радіоконтролю параметрів випромінювань РЕЗ (ВП) значною мірою спирається на врахування технічних можливостей застосовуваних засобів радіоконтролю і, передусім, їхньої продуктивності.

Продуктивність засобу радіоконтролю залежить від багатьох чинників, зокрема від контрольованої радіотехнології, обсягу виконуваних завдань і рівня автоматизації їх розв'язання. У цьому контексті під виробничою продуктивністю засобу радіоконтролю розуміють середню кількість N РЕЗ, які «обслуговуються» певним засобом за одиницю часу, з урахуванням часу T , що його витрачає оператор для здійснення повного циклу процедури радіоконтролю параметрів випромінювання одного РЕЗ, включаючи час на підготовку обладнання, входження його в робочий режим, пошук, ідентифікацію та інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювання, пеленгування (у разі необхідності) ДРВ, попередній аналіз результатів та формування звіту. При цьому поняття «продуктивність» може стосуватися лише процедури радіоконтролю. Використовувати його для процедури моніторингу спектра некоректно.

Тут доцільно скористатися запропонованим раніше поділом радіотехнологій на групи, радіоконтроль параметрів випромінювань РЕЗ яких забезпечується із застосуванням однотипних засобів радіоконтролю.

З огляду на те, що кількість передавачів, які належать до першої групи і потрапляють у зону дії стаціонарного компонента, не перевищує, як правило, кількох сотень, а час виконання завдань із радіоконтролю одного пе-

редавача не перевищує кількох хвилин, можна стверджувати, що протягом доби стаціонарна СРМ здатна здійснювати радіоконтроль усіх передавачів у зоні своєї радіодоступності. Тому оцінювати продуктивність стаціонарних СРМ недоцільно.

Оцінювання продуктивності мобільних засобів здійснюється статистичним усередненням часу, що витрачається на проведення радіоконтролю випромінювань РЕЗ однакових радіотехнологій із використанням однотипного обладнання.

За результатами проведених УДЦР досліджень було отримано оцінки продуктивності деяких МСРМ, що ними оснащено підрозділи радіоконтролю УДЦР. Наведемо окремі з цих оцінок.

1. Продуктивність спеціалізованих мобільних станцій контролю мереж стільникового зв'язку (типу РМ 1300-РЗ/5М), оснащених визначником радіоканалів ВС (типу ОРКВС), із розрахунку 8-годинного робочого дня й зайнятості 21 день на місяць становить:

- при проведенні радіоконтролю мереж стандарту GSM900/GSM1800 — 550 БС/місяць;
- при проведенні радіоконтролю мереж стандарту CDMA800 — 250 БС/місяць.

2. Продуктивність спеціалізованих мобільних станцій контролю мереж стільникового зв'язку (типу РМ 1300-РЗ/5), оснащених ОРКВС, при проведенні радіоконтролю мереж стандарту GSM становить 170 БС/місяць.

3. Продуктивність багатофункціональних МСРМ при проведенні радіоконтролю радіотехнологій першої групи становить 320 РЕЗ/місяць.

4. Продуктивність багатофункціональних МСРМ при проведенні радіоконтролю мереж стільникового зв'язку становить 200 БС/місяць.

5. Продуктивність обслуги, оснащеної переносними спеціалізованими комплексами (засобами) для проведення робіт із радіоконтролю РЕЗ ШРД (типу РМ-ШСС-ХХ) становить 130 БС/місяць.

6. Продуктивність спеціалізованих станцій технічного радіоконтролю (типу ССТК, ССТК-2) при проведенні радіоконтролю РЕЗ радіотехнологій першої групи становить 100 РЕЗ/місяць.

7. Продуктивність обслуги, оснащеної портативними вимірювальними засобами (аналізаторами спектра, аналізаторами сигналів (АС), вимірювальними РПП і т. ін.), щодо проведення радіоконтролю випромінювань РЕЗ становить 80 РЕЗ/місяць.

Інформацію про щоденні середні витрати часу на поставлення завдань, проїзд мобільних станцій до місця виконання завдання (і назад) та його виконання зведено в табл. 9.18 [146].

Основними напрямками підвищення продуктивності мобільних станцій радіоконтролю можна вважати:

- застосування багатофункціональних засобів радіоконтролю;
- оснащення СРМ більш продуктивним обладнанням із вищою чутливістю;
- використання засобів радіоконтролю, здатних виконувати завдання в автоматичному режимі (у тому числі під час руху ТЗ);
- оснащення МСРМ кількома вимірювальними засобами, які можуть функціонувати в автоматичному (або автоматизованому) режимі та забезпечують радіоконтроль кількох різних радіотехнологій (у тому числі під час руху ТЗ);

● поєднання виконання завдань із радіоконтролю різних радіотехнологій під час далеких поїздок.

Таблиця 9.18

Середні витрати часу на проведення радіоконтролю, хв

Найменування робіт	BC GSM		BC CDMA800	BC ШСС	Інші РЕЗ	Радіорелейні станції	
	PM1300-P3/5	PM1300-P3/5M	PM1300-P3/5M	PM-ШССxx	PM1300-xx	ССТК	АС
Поставлення завдань. Рух до місця проведення радіоконтролю та назад. Первинне оброблення результатів	140	140	140	100	140	90	90
Вибір місця розгортання засобів. Розгортання/згортання	10	0	10	20	0	60	43
Виконання робіт із інструментального оцінювання параметрів одного РЕЗ	27	9	15	15	18	16	32
Формування протоколу в електронному вигляді	4	4	4	25	4	4	25
Усього:	41	13	29	60	22	80	100

9.10.5. Перспективні напрямки розвитку СРЧМ УДЦР

З урахуванням тенденцій розвитку радіомоніторингу та оцінки наявного стану СРЧМ УДЦР можна виокремити такі основні напрямки її розвитку.

1. Автоматизація взаємодії існуючої АСРМ і автоматизованої системи планування та регулювання використання РЧР.

2. Модернізація стаціонарного компонента СРЧМ.

3. Цифровізація стаціонарних засобів радіомоніторингу.

4. Подальше вдосконалення мобільного компонента, розширення функціональних і технічних можливостей мобільних засобів радіоконтролю.

5. Удосконалення стаціонарного компонента АСРМ УДЦР завдяки розгортанню стаціонарної підсистеми радіоконтролю в КХ діапазоні.

Для підтримання ефективної взаємодії між СРЧМ із БД обліку частотприсвоєнь системи планування та розподілу РЧР в УДЦР створений Центр оброблення даних (ЦОД). Впроваджений ПК на базі ПЗ ICS Manager nG (компанії ATDI, Франція). Надалі планується реалізація комплексу заходів щодо налагодження автоматизованої взаємодії між АРМ ЦПУ СРЧМ і БД обліку присвоєнь радіочастот.

Забезпечення такої автоматизованої взаємодії між СРЧМ і БД системи планування та регулювання використання РЧР відбувається в рамках реалізації в УДЦР заходів щодо створення єдиної інформаційно-аналітичної та розрахункової системи управління підприємством.

Одним із допоміжних напрямків реалізації автоматизованої взаємодії зазначених систем є впровадження корпоративної мережі зв'язку та дублювання каналів зв'язку між ЦПУ АСРМ і РПРМ, а також між ПУ РПРМ і віддаленими РКП.

Об'єктивна необхідність модернізації стаціонарного компонента СРЧМ не лише підтверджується загальносвітовою тенденцією зсуву акцентів цільової спрямованості завдань радіомоніторингу від радіоконтролю в бік оцінювання реальної зайнятості смуг частот і ЕМО, а й зумовлюється потребами розвитку сфери телекомунікацій щодо впровадження нових радіотехнологій і розвитку наявних мереж зв'язку. Одним із перспективних напрямків подальшого вдосконалення структури стаціонарного компонента АСРМ УДЦР є поступова поетапна заміна теперішнього «парку» стаціонарних СРМ на сучасні станції, які забезпечують розв'язування відповідних завдань в автоматичному режимі.

Станції радіомоніторингу, які діють нині у складі АСРМ УДЦР, за своїми функціональними й технічними можливостями вже не забезпечують належного радіоконтролю випромінювань передавачів РЕЗ сучасних цифрових радіотехнологій і систем зв'язку (передусім цифрового телевізійного та звукового мовлення, транкінгового зв'язку тощо). Тому одним із головних напрямків удосконалення СРЧМ УДЦР є перехід на сучасні СРМ, основу яких становлять швидкодіючі компактні цифрові РПП, у процесі поступової заміни (після закінчення термінів експлуатації) діючих СРМ на нові.

До найважливіших напрямків удосконалення мобільного компонента СРЧМ УДЦР можна віднести:

- цифровізацію радіоприймальних трактів каналів виявлення, радіоконтролю та пеленгування МСРМ загального призначення за рахунок переходу до використання цифрових РПП;
- розширення функціональних і технічних можливостей мобільних засобів за рахунок використання багатофункціонального (за кількістю контрольованих радіотехнологій) спеціалізованого обладнання;
- автоматизацію виконання завдань із радіоконтролю (у тому числі під час руху ТЗ) і поєднання виконання завдань із радіоконтролю різних радіотехнологій у процесі одного виїзду ТЗ.

9.11. Міжнародне співробітництво у сфері радіомоніторингу

9.11.1. Нормативно-правове забезпечення функціонування міжнародної СРЧМ

На сучасному рівні розвитку сфери телекомунікацій контроль радіовипромінювань є невід'ємною частиною системи частотного менеджменту. Заходи з регулювання використання РЧР у міжнародному масштабі координує МСЕ [3].

Вочевидь, кожна країна має використовувати засоби радіомоніторингу як найважливіший інструмент для забезпечення ефективного управління використанням РЧР на національному рівні. Проте, оскільки одна з цілей МСЕ полягає в забезпеченні ефективного й економічного використання РЧР і сприянні швидкому усуненню дії радіозавад, усі адміністрації зв'язку мають співробітничати одна з одною у сфері радіомоніторингу.

Необхідність міжнародного співробітництва щодо розподілу смуг частот і контролю за дотриманням ліцензійних угод постає тоді, коли випромінювання РЕЗ поширюються за межі національних кордонів. Такі ситуації виникають тоді, коли уніфіковані радіозасоби (або їхнє випромінювання)

перетинають національні кордони, що відбувається передусім у разі використання ВЧ діапазону та супутникових ретрансляторів.

Регламент радіозв'язку передбачає, що адміністрації зв'язку мають здійснювати моніторинг в обсязі, необхідному для МСЕ та інших адміністрацій, а також налагоджувати кооперацію для виявлення та усунення дії радіозавад. Необхідність функціонування національних служб радіомоніторингу має бути цілком очевидною адміністраціям зв'язку, які прагнуть бути впевненими, що їхні власні радіостанції (РЕЗ) працюють згідно з національними та міжнародними регламентуючими документами. Кожна адміністрація повинна мати також службу радіоінспекції, яка забезпечує збір інформації про ліцензійні положення національних радіостанцій (у загальному випадку служба радіоінспекції в різних країнах може або брати участь у роботі служби радіомоніторингу, або не брати такої участі).

Для розв'язання проблем щодо появи радіозавад у смугах частот, виділених для радіомовної служби, в Європі було реалізовано програму зі створення кооперативної міжнародної системи спостереження за випромінюваннями станцій (передавачів) цієї служби. Першу міжнародну СРМ, що належала Міжнародному радіомовному союзу (нині — Європейський радіомовний союз, *European Broadcasting Union* — EBU), було розгорнуто 1929 року в містечку Журбізе (Брюссель). Роком пізніше адміністрації зв'язку країн регіону Північного моря ухвалили погоджене рішення про те, що міжнародне спостереження випромінювань у діапазонах частот роботи морської рухомої служби має дати істотні переваги стосовно забезпечення роботи РЕЗ цієї служби. Тому в Бельгії було організовано Центр мобільної служби радіомоніторингу, який мав здійснювати спостереження за випромінюваннями радіостанцій повітряних засобів.

В Атлантик-Сіті (США) було створено Міжнародну комісію з радіочастот (МКРЧ) і ухвалено рішення щодо впровадження міжнародної системи радіомоніторингу. Поштовх до цього дали результати роботи двох організованих раніше центрів радіомоніторингу.

Адміністративні й процедурні вимоги щодо створення, функціонування та експлуатації міжнародної системи контролю випромінювань визначаються статтею 16 Регламенту радіозв'язку [12] і мають відповідати положенням Рекомендації ITU-R SM.1139 [130].

Процеси інтеграції національних СРМ у міжнародну СРЧМ та їх акредитація висувають певні вимоги до функціональності й технічних характеристик СРМ і форм звітності про виконані роботи, накладаючи певні зобов'язання щодо участі СРМ у загальних заходах (під егідою МСЕ і/або міжнародної СРЧМ). Вимоги до СРМ для країн, що розвиваються, визначено в Рекомендації ITU-R SM.1392 [52].

9.11.2. Склад і структура міжнародної системи радіомоніторингу

Створення науково-технічної бази радіоконтролю та підтримання функціонування Міжнародної системи радіомоніторингу (радіоконтролю) покладено на Сектор радіозв'язку МСЕ (ITU-R), а надання допомоги країнам у створенні регіональних і національних мереж і засобів радіоконтролю — на Сектор розвитку електрозв'язку МСЕ (ITU-D) [3; 131].

На Бюро радіозв'язку МСЕ покладено, зокрема, завдання щодо:

- надання допомоги країнам на національному й регіональному рівнях у становленні та розвитку СРЧМ;

- організації досліджень (разом із ITU-R) і розробленні методичних матеріалів;
- подання пропозицій стосовно структури й організації автоматизованої системи частотного менеджменту (включаючи радіоконтроль) та надання допомоги з її впровадження;
- надання експертів для розробки й створення національних і регіональних СРЧМ.

Бюро радіозв'язку організовує проведення робіт у рамках міжнародної системи радіомоніторингу на базі як регулярних, так і спеціальних програм.

Реалізація регулярних програм має на меті:

- збір інформації про використання РЧР у місцях (пунктах) розташування СРМ і отримання даних про зайнятість смуг частот;
- виявлення та опізнання радіостанцій (РЕЗ), параметри випромінювання яких не відповідають вимогам Регламенту радіозв'язку;
- збір інформації про використання смуг частот, розподілених на винятковій основі конкретним радіослужбам (наприклад, морській, радіомовній, повітряній) на запити Конференції радіозв'язку.

Бюро радіозв'язку (БР) організовує спеціальні програми для проведення моніторингу конкретних смуг частот у фіксовані інтервали часу. Для інформування адміністрацій зв'язку про реалізацію тієї чи іншої спеціальної програми БР розсилає відповідні циркулярні листи. Такі листи містять у собі перелік різних параметрів, що підлягають збору за допомогою СРМ, із зазначенням формату подання інформації до БР.

Станції, що беруть участь в адміністративній і організаційній системі міжнародного радіомоніторингу, мають дві характерні функції: одна відповідає національним інтересам, друга — міжнародним вимогам. Зокрема, кооперація з іншими СРМ дозволяє розв'язувати специфічні проблеми (наприклад, ідентифікувати невідомі РЕЗ, які створюють радіозавади, особливо в КХ діапазоні), забезпечувати МСЕ даними про загальну зайнятість РЧС і спеціальною інформацією, в якій МСЕ має потребу. На практиці необхідно, щоб міжнародні СРМ підтримували чіткий поділ між діяльністю СРМ у національних інтересах та в інтересах міжнародної СРЧМ.

Міжнародна СРЧМ включає в себе тільки ті станції, які було призначено для цього адміністраціями згідно з інформацією, переданою Генеральному секретареві відповідно до Резолюції ITU-R 23-1 [132] та Рекомендації ITU-R SM.1139. Ці станції можуть перебувати в експлуатації відповідної адміністрації або (на підставі дозволу, виданого адміністрацією) державних органів чи приватних структур. Зазначені станції можуть експлуатуватися також спільною службою контролю, створеною двома чи кількома країнами, або міжнародною організацією. При цьому слід чітко розуміти, що абсолютна більшість СРМ, делегованих (включених) адміністраціями до міжнародної СРЧМ, є стаціонарними станціями.

Кожна адміністрація або спільна служба контролю, створена двома чи кількома країнами, або міжнародна організація, що бере участь у міжнародній системі контролю випромінювань, призначає централізовану установу, якій потрібно адресувати всі запити щодо контролю та за допомогою якої дані контролю передаються до БР або до централізованих установ інших адміністрацій.

Ще одна сфера тісного співробітництва між окремими СРМ у складі міжнародної СРЧМ — пеленгування та визначення місцезнаходження пе-

редавачів і їх опізнання, особливо якщо такі передавачі є джерелами шкідливих радіозавад. Однією з умов забезпечення плідного співробітництва є наявність відповідних попередніх домовленостей (адміністративних угод) між адміністраціями, що дозволяють здійснювати безпосередні контакти між СРМ.

Зі зведеними відомостями щодо контролю із зазначенням станції, від якої надіслано ті чи інші дані, можна ознайомитися на Internet-сторінці за адресою: <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/monitoring/index.html>.

Окрім того, результати радіоконтролю використовуються:

- Бюро радіозв'язку в разі опізнання випромінювань, що не відповідають Регламенту радіозв'язку, для привернення уваги відповідної адміністрації до цих спостережень;

- для усунення або мінімізації будь-яких невідповідностей (наприклад, щодо § 12.35 Регламенту радіозв'язку);

- для опізнання ДРВ, аналізу задової ситуації та усунення шкідливих завад (§ 15.26, 15.29, 15.44 Регламенту радіозв'язку).

Згідно з § 8 статті 20 Регламенту радіозв'язку інформація про такі СРМ публікується МСЕ у Списку станцій міжнародного радіоконтролю (відомому як Список VIII).

Список VIII складається з чотирьох розділів.

Розділ 1 поділяється на дві частини. **Частина А** містить інформацію про централізовані органи держав, чії СРМ входять до складу міжнародної СРЧМ (поштова адреса, номери телефонів тощо). У **частині В** за алфавітним порядком (відповідно до назви населеного пункту, біля якого розгорнуто СРМ) подається адресна інформація про СРМ, а також наводиться перелік виконуваних нею функцій у вигляді умовних позначок:

А — вимірювання частоти;

У — вимірювання напруженості поля або густини потоку потужності;

С — радіопеленгація ДРВ;

D — вимірювання ширини смуги частот;

Е — автоматичне оцінювання зайнятості спектра.

Розділ 2 конкретизує інформацію про станції, що забезпечують радіоконтроль випромінювань РЕЗ наземних радіослужб, із зазначенням:

- географічних координат місцезнаходження СРМ;

- часу роботи;

- діапазону робочих частот;

- функцій, які може виконувати кожна СРМ;

- інструментальної точності вимірювання технічних параметрів;

- максимального і мінімального вимірюваних значень напруженості електромагнітного поля;

- типу використовуваної пеленгаторної антени;

- методу вимірювання ширини смуги частот випромінювання і розрізнення на рівні мінус 60 дБ;

- методу автоматичного вимірювання зайнятості спектра.

Окрім того, у цьому розділі містяться відомості про використовувані вимірювальні прилади й антени, методи вимірювання параметрів, наявність GPS-приймачів і мобільних станцій, а також інша інформація, що її кожна адміністрація вважає за необхідне розмістити.

Розділ 3 включає в себе докладну інформацію про СРМ, які забезпечують радіоконтроль випромінювань станцій супутникових служб, зокрема:

- назву станції та її географічні координати;
- період роботи (час доби та дні тижня);
- відомості про антени, використовувані в СРМ;
- розміри сектора контролю в азимутальній і кутомірній площинах;
- дані про поляризацію;
- потенційно досяжну точність визначення координат супутників;
- шумову температуру;
- потенційно досяжну точність вимірювання частоти;
- мінімальне значення вимірюваної густини потоку потужності;
- використовуваний метод вимірювання ширини смуги частот випромінювання та іншу інформацію.

Розділ 4 містить електронну карту із зазначенням місць розташування СРМ і географічних зон радіомовлення (CIFAR).

Інформація у Списку VIII дублюється трьома (із шести) офіційних мов МСЕ — французькою, англійською та іспанською. Приклади заповнення розділів 2 і 3 наведено відповідно в дод. 2 і 3.

На початок 2009 року у складі міжнародної СРЧМ налічувалося:

- шість наземних станцій супутникового радіомоніторингу;
- 330 стаціонарних СРМ, що працюють у різних діапазонах частот;
- 57 мобільних станцій радіомоніторингу, які представляли 77 держав світу.

За діапазонами частот роботи 330 СРМ розподілено:

- у смузі частот від 9(10) кГц до 30 МГц — 49 СРМ;
- у смузі частот від 9(10) кГц до 1 ГГц — 42 СРМ;
- у смузі частот від 9(10) кГц до 3 ГГц — 149 СРМ;
- у смузі частот від 30(20) МГц до 3 ГГц — 84 СРМ;
- у смузі частот від 10 кГц до 500 МГц — 2 СРМ.

Крім того, деякі адміністрації декларують можливість залучення для виконання завдань радіомоніторингу МСРМ, які офіційно не включено до Списку VIII. Інформація про наземні станції супутникового моніторингу, які включено до складу міжнародної СРЧМ, міститься в табл. 9.19 [133].

Таблиця 9.19

Інформація про наземні станції супутникового моніторингу

Місцезнаходження	Діапазон частот	Тип антени
Аргентина (Буенос-Айрес)	L, C, Ku	Логоперіодична; параболічна діаметром 4,5 м
Німеччина (Ліхайд)	L, S, C, Ku, Ka	Дипольна; дві антени Касегрена діаметром 8,5 і 12 м
Китай (Пекин)	C, Ku	Антенна Касегрена діаметром 13 м
Корея (Айхон)	L, S, C, X, Ku, Ka	Дві антени Касегрена діаметром 13 м
США (Колумбія, Мериленд)	L, C, X, Ku	Антенна Касегрена діаметром 5 м
Японія (Токіо)	L, S, C, Ku, Ka	Дві антени Касегрена діаметром 5 і 11 м
Україна (Київ)	C, Ku	Дві антени Касегрена діаметром 7,3 м

9.11.3. Тенденції розвитку міжнародної СРЧМ

Незважаючи на наявні недоліки в організації міжнародної СРЧМ, нині завдяки появі нового покоління більш ефективного й дешевого радіоконтрольного обладнання простежується чітка тенденція до модернізації наявних ВЧ СРМ і створення станцій контролю супутникових систем зв'язку не тільки в розвинених країнах, але й у країнах, що розвиваються. Можна виокремити два головні напрямки розвитку міжнародної СРЧМ.

1. Підвищення ефективності існуючої мережі СРМ з одночасною мінімізацією вартості її створення та вдосконалення.

2. Створення глобального покриття станціями радіомоніторингу всіх Районів МСЕ завдяки залученню до співробітництва у сфері радіомоніторингу якомога більшої кількості адміністрацій зв'язку.

Із метою подальшого розвитку міжнародної СРЧМ адміністраціям, які беруть участь у роботі системи, МСЕ рекомендує:

- розширювати рамки своєї участі в роботі міжнародної СРЧМ;
- організувати регулярне інформаційне забезпечення системи;
- усіляко активізувати процес укладання взаємних адміністративних та експлуатаційних угод;
- удосконалювати взаємодію між СРМ різних адміністрацій і національних СРЧМ на гармонізованій основі.

Для визначення та реалізації заходів з удосконалення міжнародної СРЧМ Асамблея радіозв'язку 2003 року ухвалила Резолюцію ITU-R 23-1, що закликає адміністрації зв'язку:

- не припиняти роботи в рамках міжнародної СРЧМ;
- надавати кошти для роботи в зазначених рамках;
- заохочувати обмін даними між СРМ, зокрема інформацією, що стосується випромінювань космічних станцій, а також визначення джерел радіозавад, створюваних передавальними станціями, які важко або неможливо опізнати;
- приймати в себе співробітників інших адміністрацій із метою навчання їх методів радіоконтролю, радіопеленгації та геолокації (адміністрації Австралії, Великобританії, Німеччині, Італії, Канади, Португалії, США, Франції та Японії виступили з пропозицією прийняти в себе представників інших адміністрацій).

9.11.4. Міжнародне співробітництво у сфері радіомоніторингу в прикордонних зонах

Співробітництво національних служб радіомоніторингу не обмежується спільною участю в міжнародній СРЧМ. Однією зі сфер такого співробітництва є реалізація заходів щодо запобігання (або зведення до мінімуму) випадків порушення умов ЕМС із боку РЕЗ, розташованих на територіях сусідніх держав.

До необхідних умов забезпечення беззавадної роботи РЕЗ у ДВЧ/УВЧ діапазоні у прикордонних зонах можна віднести:

- 1) гармонізацію вимог до параметрів випромінювань РЕЗ завдяки встановленню однакових (узагальнених) технічних умов (це явище найбільш характерне для Європи, особливо для країн ЄС);
- 2) гармонізацію методів, методик і процедур проведення радіоконтролю параметрів випромінювань РЕЗ між державами згідно з рекомендаціями МСЕ та узгодження їх на двосторонньому рівні;

3) міжнародна (дво- чи багатостороння) координація на етапі розрахунку ЕМС РЕЗ і присвоєння радіочастот.

Розв'язання останніх двох завдань має сприяти значному підвищенню ефективності служб радіомоніторингу суміжних держав, особливо щодо виявлення та усунення дії радіозавад.

Утім проведення радіоконтролю в прикордонних зонах характеризується принаймні двома специфічними особливостями порівняно з вимірюванням у межах країни:

по-перше, різні умови, в яких здійснюється радіоконтроль: органи радіомоніторингу країни, на території якої розташовано контрольований передавач, найчастіше не мають можливості провести вимірювання параметрів радіовипромінювання для перевірки дотримання умов ЕМС на території сусідньої держави;

по-друге, вимірювання рівня випромінювання передавача, що перебуває на території сусідньої держави, проводяться в умовах апріорної невизначеності щодо наявності завадних випромінювань із території цієї держави та місцезнаходження відповідних джерел.

Для оптимізації процедур радіоконтролю та спрощення розв'язання спірних ситуацій між сусідніми державами МСЕ, керуючись статтею 16 Регламенту радіозв'язку, вважає за доцільне укладати спеціальні угоди, які мають регламентувати зазначені процедури. До основних питань, регламентованих такими угодами, можна віднести:

1) порядок установаження безпосередніх контактів між органами радіомоніторингу сусідніх держав;

2) чітке визначення сфери їхніх повноважень;

3) порядок інформування централізованого органу;

4) обмін переліками заходів регіональних підрозділів радіомоніторингу, дозволених вищими органами;

5) узгодження планів розташування засобів радіомоніторингу в прикордонних зонах та в межах області їх взаємодії або повідомлення органів моніторингу сусідніх держав про дислокацію засобів «своїх» регіональних підрозділів радіомоніторингу в цих зонах;

6) обмін списками мереж РЕЗ, розгорнутих у прикордонних зонах, разом з їхніми технічними характеристиками, для забезпечення «прозорості» їх функціонування для органів радіомоніторингу інших країн.

Як приклад координації передавачів GSM базових станцій, розташованих на території сусідньої держави, можна навести вимоги до нормованих значень ЕІВП таких передавачів, наведені в Рекомендації СЕРТ ЕСС REC/(05)08: нормований рівень напруженості електромагнітного поля на відстані 15 км від кордону вглиб сусідньої держави не повинен перевищувати 19 дБмкВ/м у піддіапазоні частот 900 МГц і 25 дБмкВ/м — у піддіапазоні частот 1800 МГц [140].

9.11.5. Організація радіоконтролю при проведенні великих міжнародних заходів

Одним із основних завдань служби радіомоніторингу є сприяння забезпеченню проведення великих міжнародних заходів (спортивних змагань, міжнародних фестивалів тощо). Розв'язання цього завдання передбачає реалізацію цілого комплексу заходів із залученням різних структур — як причетних до регулювання використання РЧР (служби планування і роз-

поділу радіочастот, служби радіоінспекції, служби радіомоніторингу), так і силових, зокрема органів внутрішніх справ.

При цьому зміст завдань на етапі підготовки заходів істотно відрізняється від завдань у процесі його проведення. Так, національні регуляторні органи у сфері використання РЧР на етапі підготовки до проведення спортивних заходів мають:

- визначити завдання служби радіомоніторингу для забезпечення проведення заходу на відповідному рівні;
- проаналізувати потреби в РЧР із боку потенційних користувачів;
- здійснити моніторинг спектра у заявлюваних смугах частот;
- дослідити питання ЕМС заявлюваного обладнання з устаткуванням авіаційної служби та спеціальних користувачів;
- розв'язати питання щодо вивільнення заявлюваних смуг частот до видачі відповідних дозволів на експлуатацію;
- визначити порядок і правила отримання тимчасового дозволу на користування смугами частот (присвоєння радіочастот для тимчасового користування) і поширити їх у засобах масової інформації (ЗМІ) — електронних, телевізійного та звукового мовлення, друкованих;
- поширити у ЗМІ списки дозволених і заборонених для користування частот (так звані списки «зелених» і «червоних» частот);
- визначити порядок і правила тимчасового ввезення РЕЗ і поширити їх у ЗМІ;
- визначити потребу органів радіомоніторингу в силах і засобах, які знадобляться для розв'язування поставлених завдань (з урахуванням резервування цих сил і засобів);
- визначити порядок і правила маркування РЕЗ, дозволених до використання на період проведення заходу (зокрема, колірного маркування за зонами безпеки: стадіон, зона обслуговування, фан-зона і т. ін.);
- розв'язати питання щодо дооснащення (у разі потреби) підрозділів радіомоніторингу необхідними технічними засобами і проведення навчання фахівців;
- практично відпрацювати питання здійснення радіоконтролю та організації взаємодії з іншими органами.

Головні завдання державних органів у сфері регулювання використання РЧР на етапі підготовки та проведення заходу можна сформулювати так:

- досягти максимального задоволення потреб користувачів у РЧР;
- забезпечити умови беззавадної роботи РЕЗ органів і служб, причетних до проведення заходу;
- запобігти (або звести до мінімуму) випадкам незаконного використання РЕЗ;
- забезпечити дотримання національного законодавства у сфері використання РЧР.

Орієнтовний перелік радіотехнологій (видів РЕЗ), зазвичай використовуваних для забезпечення заходів, про які йдеться, включає в себе:

- системи цифрового транкінгового зв'язку стандарту TETRA (базові та абонентські станції) для забезпечення роботи служби швидкої допомоги, рятувальної, пожежної служби, міліції і т. ін., які працюють у смугах частот 413...420 МГц; 423...430 МГц;
- системи персонального моніторингу (типу *In-Ear-Monitoring*), які працюють у смузі частот 410...470 МГц;

- безпроводові камери — у смузі 2,0...2,69 ГГц;
- засоби радіотелеметрії та дистанційного радіоуправління — у смузі 450...470 МГц;
- переносні станції (термінали) супутникового радіозв'язку — у смузі 14,0...14,5 ГГц;
- супутникові станції передавання репортажів із місця подій — у смузі 2,2...2,9 ГГц;
- безпроводові радіомікрофони — у смузі 450...850 МГц;
- безпроводові переговорні пристрої — у смузі 410...470 МГц.

Розподіл смуг частот у різних країнах має істотні відмінності. Завдання звільнення смуг частот, планованих до присвоєння РЕЗ на тимчасовій основі, вимагає проведення моніторингу спектра в цих смугах із метою:

- виявлення потенційних ДРВ та джерел завадних випромінювань;
- вживання заходів щодо виведення їх із цих смуг частот на період проведення заходу (як показує досвід проведення аналогічних заходів, цей період становив 3–4 місяці, включаючи два місяці до їх початку).

Моніторинг проводиться, переважно, у смузі частот від 148 МГц до 3 ГГц.

Досвід проведення чемпіонатів із футболу у 2006, 2008 і 2010 роках показав, що кількість авіарейсів під час заходів збільшується приблизно на 70%. Гарантування безпеки польотів в умовах різкого збільшення кількості РЕЗ диктує необхідність проведення досліджень ЕМС заявлюваного обладнання з авіаційною службою.

Розроблення пропозицій щодо вивільнення смуг частот виведенням із них РЕЗ (радіотехнологій), які можуть створювати радіозавади службам, котрі забезпечують безпеку проведення заходів, базується на конкретних результатах моніторингу спектра. Згідно з досвідом проведення аналогічних спортивних заходів на особливу увагу заслуговує смуга частот 410...470 МГц, в якій працюють служби забезпечення безпеки. Проте через значні розбіжності в розподілі радіочастот у різних країнах розробляти узагальнені пропозиції немає сенсу.

Завчасне опублікування у ЗМІ інформації стосовно порядку й правил отримання тимчасового дозволу на користування смугами частот (частотоприсвоєння) має на меті ознайомити з цією інформацією можливих користувачів РЧР і мінімізувати кількість випадків незаконного використання (експлуатації) РЕЗ через незнання вимог національного законодавства у сфері використання РЧР.

Так, у період підготовки до ЄВРО-2008 ліцензування обладнання та видачу дозволів було спрощено настільки, наскільки це можливо: на Інтернет-порталі Федерального міністерства транспорту, інновацій і технологій Австрії було створено Web-сторінку, на якій можна було заповнювати й відправляти заявки на координацію та присвоєння радіочастот (лише в Австрії координувалося близько 4800 частотних присвоєнь, було видано близько семи тисяч індивідуальних присвоєнь і 173 дозволи на передавальні супутникові станції). А для реєстрації таких пристроїв, як радіопередавачі відеокамер, радіомікрофони, радіообладнання для передавання голосу й даних, у дні проведення матчів ліцензування та видача дозволів проходилися безпосередньо перед стадіонами (утім така практика можлива у країнах — членах ЄС і Шенгенської угоди, не завжди прийнятна в інших країнах).

Визначення порядку й правил тимчасового ввезення РЕЗ у країну, яка виступає організатором масового міжнародного заходу, вимагає узгодження їх з органами митного контролю та прикордонною службою держави, а також забезпечення обміну інформацією між ними і регуляторними органами у сфері використання РЧР (службою радіоінспектування). Окрім того, ці процедури мають передбачати контроль за обов'язковим вивезенням ввезеного обладнання у встановлений термін.

Згідно з досвідом участі національних служб радіомоніторингу під час проведення таких чемпіонатів радіоконтроль організовувався лише за об'єктним принципом, який передбачав охоплення радіоконтролем місць проведення змагань (стадіонів), прилеглої території та фан-зон. Радіоконтроль організовувався з використанням рухомих (мобільних) станцій, оснащених радіопеленгаторами, і портативних пристроїв. Для забезпечення виявлення і визначення місцезнаходження ДРВ та РЕЗ, що діють незаконно, біля кожного стадіону розташовувалися три МСРМ, оснащені радіопеленгаторами. Одна з МСРМ виступала як провідна (рухомий ПУ, оснащений відповідним ПЗ) і забезпечувала видачу команд на два відомі МСРМ та розрахунки координат ДРВ. Окрім того, безпосередньо на стадіонах і у фан-зонах постійно перебували до трьох рухомих груп, оснащених портативними РПП (типу EB200, PR100) зі спрямованими антенами. Таким чином, для розв'язання завдань радіоконтролю в чотирьох містах необхідно принаймні 12 МСРМ, оснащених радіопеленгаторами, з яких чотири (за кількістю місць розгортання таких локальних пеленгаторних мереж) мають забезпечувати управління відомими пеленгаторними МСРМ та оброблення результатів пеленгування. У разі рознесення змагань у різних містах за часом може розглядатися варіант використання тих самих станцій. Однак щоденні пробіги МСРМ на відстані в кілька сотень кілометрів є не найкращим варіантом їх експлуатації.

Одним із варіантів розв'язання завдань радіоконтролю, що заслуговують на увагу, є розгортання в районах стадіонів компактних транспортованих радіопеленгаторів, керованих рухомими ПУ (МСРМ із радіопеленгатором). Наприклад, в Австрії в районах стадіонів і фан-зон було розгорнуто чотирнадцять стаціонарних пеленгаторів, об'єднаних у єдину мережу. Управління роботою всіх пеленгаторів здійснювалося в дистанційному режимі. Загальне управління МСРМ і виконання оперативних розрахунків здійснювалося зі спеціально розгорнутого для цього Центру радіомоніторингу. Перевагою застосування транспортованих радіопеленгаторів є їхня компактність, вузький сектор роботи за азимутом і малий радіус зони дії.

Здійснення колірної маркування РЕЗ мало на меті розмежування доступу користувачів у різні зони безпеки, на різні стадіони тощо, а також спрощення оперативного візуального контролю відповідності дозволу на експлуатацію (використання) РЕЗ у межах даної зони.

Безпосередньо (за дві-три години) до початку матчу служба радіомоніторингу проводила контрольний моніторинг спектра і спільно зі службою радіоінспекції здійснювала заходи щодо інспектування користувачів РЧР та їхнього обладнання. Інспектування проводилось в умовах увімкнення максимальної кількості РЕЗ (радіообладнання) у штатних режимах їхньої роботи. Особлива увага приділялась смугам частот роботи служб безпеки та супутникових станцій передавання репортажів.

Завдання органів радіомоніторингу на період проведення змагань полягало ось у чому:

- у запобіганні спробам експлуатації в безпосередній близькості від контрольованих об'єктів РЕЗ, які можуть впливати на РЕЗ служб безпеки й обслуговувальних служб (створювати радіозавади або в інший спосіб утруднювати роботу РЕЗ);

- в оперативному виявленні та вжитті заходів із припинення роботи РЕЗ, які діють незаконно, та інших ДРВ, які створюють радіозавади для РЕЗ обслуговувальних служб на контрольованих об'єктах і в прилеглих до них районах;

- у перевірці відповідності параметрів (робочих частот та інших характеристик) РЕЗ і радіообладнання перед видачею дозволів.

Роботи з моніторингу спектра та радіоконтролю розгорталися за кілька годин до початку поточного змагання та згорталися через дві години після його закінчення. Для запобігання спробам експлуатації недозволених РЕЗ безпосередньо на об'єктах при вході на стадіони проводився також контроль наявності дозволу на внесення РЕЗ у дану зону (за колірним маркуванням) із тимчасовим вилученням відповідних засобів у разі порушення встановлених правил. Рухомі групи, оснащені портативним обладнанням (РПП та спрямованими антенами), здійснювали моніторинг безпосередньо на стадіоні з метою виявлення та вилучення РЕЗ, пронесених на його територію (згідно із загальноприйнятою практикою безпосередньо на час проведення матчів на БС GSM, які обслуговують райони, прилеглі до стадіонів, та самі стадіони, здійснювалося автоматичне блокування вхідних дзвінків абонент-ських (мобільних) терміналів).

Як показав досвід участі національних служб радіомоніторингу в забезпеченні проведення міжнародних змагань, основні проблеми з ЕМС РЕЗ і ВП, що виникають під час проведення заходів, стосуються:

- відеоекранів, що створюють радіозавади в широкій смузі частот;
- низькоякісного програмування радіообладнання;
- виникнення інтермодуляції, зумовленої одночасною роботою великої кількості РЕЗ на обмежених територіях і в замкненому просторі;
- переривання сеансів зв'язку в каналах транкінгового зв'язку, зумовленого підвищеним навантаженням на БС, і випадків появи короточасних радіозавад від ДРВ, що перебувають поза межами зон радіоконтролю;
- роботою несанкціонованих ДРВ (для переривання функціонування каналу транкінгового зв'язку достатньо 2–3 абонентських терміналів потужністю 10 Вт).

9.11.6. Міжнародні симпозиуми, семінари

Однією з форм плідного співробітництва фахівців у сфері регулювання РЧР і радіомоніторингу є участь у роботі міжнародних симпозиумів, конференцій і семінарів. Найбільш відомими серед цих заходів є такі, що регулярно проводяться, а саме:

- Міжнародні симпозиуми та виставки з ЕМС, які у 2010 проводились у Вроцлаві (Польща) за організацією Вроцлавського технологічного університету та Національного інституту телекомунікацій Польщв, а в 2011 році у Йорку (Великобританія), організованому Йорським університетом;

- Міжнародний симпозиум і виставка з ЕМС та електромагнітної екології в м. Санкт-Петербурзі, організовані Санкт-Петербурзьким держав-

ним електротехнічним університетом «ЛЕТІ» за підтримки Міжнародного інституту IEEE та Товариства IEEE *Electromagnetic Compatibility Society* (EMC-S);

● Міжнародний семінар із радіомоніторингу і виставка обладнання радіомоніторингу, які організовуються МСЕ і Державним підприємством «Український державний центр радіочастот» і проводяться в м. Києві.

Перший семінар із радіомоніторингу в м. Києві було проведено в 2002 році у форматі національного. У його роботі взяли участь близько 170 фахівців у сфері радіомоніторингу, виробників обладнання, представників вищих навчальних закладів і науково-дослідних установ в Україні. Останній семінар 2010 року зібрав понад 220 учасників із 20 країн Європи та Азії. Семінар у Києві є, вочевидь, єдиним міжнародним заходом, тематика якого пов'язана безпосередньо з радіомоніторингом.

Тематика семінарів у Києві охоплює питання діяльності МСЕ з надання допомоги адміністраціям зв'язку щодо організації радіомоніторингу, розвитку сфери телекомунікацій, методології радіоконтролю випромінювань сучасних і перспективних радіотехнологій, стану й перспектив розвитку національних СРЧМ і т. ін. На виставці, яка традиційно проводиться в останній день семінару, УДЦР демонструє сучасні розробки засобів радіомоніторингу, що експлуатуються УРЧМ і підрозділами радіоконтролю підприємства, а провідні виробники обладнання радіомоніторингу й торговельні організації-дилери — сучасні вимірвальні прилади.

9.12. Тенденції розвитку засобів та методів радіомоніторингу

Як уже неодноразово зазначалося, радіомоніторинг — це найефективніший інструмент сприяння розв'язанню багатьох завдань у сфері регулювання використання РЧР. Із розвитком телекомунікацій динамічно вдосконалюється й сам процес регулювання: уточнюються завдання, удосконалюються існуючі й впроваджуються нові методи регулювання. Згідно з цим уточнюються завдання, удосконалюються традиційні та впроваджуються нові методи радіомоніторингу.

На практиці головні тенденції (напрямки) розвитку засобів і методів радіомоніторингу визначаються двома основними чинниками.

Перший чинник дає поштовх до розв'язання стратегічних (довгострокових) і поточних завдань із регулювання використання РЧР.

Другий чинник змушує підтримувати відповідність рівня методології та технічної оснащеності СРЧМ рівню розвитку засобів зв'язку (та сфери телекомунікацій загалом).

Стосовно першого чинника слід нагадати, що в умовах ринкових відносин основу процесу регулювання становлять, переважно, економічні й нормативно-правові механізми. У більшості європейських країн виділення смуг частот для користувачів РЧР здійснюється на платній основі за результатами конкурсів (аукціонів). Цим зумовлюється необхідність оцінювання:

- завантаження смуг частот діючими радіотехнологіями;
- обсягів придатного для продажу спектра;
- вартості «одиниці» спектра;
- можливості та доцільності перерозподілу вже розподілених смуг частот;

- ступеня задоволення потреб і запитів користувачів (населення) щодо появи нових видів і послуг зв'язку за рахунок упровадження нових радіотехнологій;

- економічної ефективності від упровадження зазначених технологій.

Всесвітня конференція радіозв'язку в 2003 році (ВКР-03) ухвалила Резолюцію 951 «Удосконалення структури міжнародного регулювання використання спектра», згідно з якою ІТУ-R доручено провести дослідження можливості істотного підвищення ефективності використання РЧР на базі існуючих радіотехнологій, радіотехнологій, що перебувають у процесі становлення, і майбутніх радіотехнологій.

Що ж до другого чинника, то доцільно розглянути особливості організації мереж нових радіотехнологій та визначити основні напрямки розвитку сфери телекомунікацій і засобів зв'язку.

9.12.1. Сучасний стан розвитку сфери телекомунікацій

9.12.1.1. Нові радіотехнології

Поряд із численними традиційними радіотехнологіями велика увага з боку органів радіомоніторингу приділяється перспективним радіотехнологіям, які перебувають на стадії упровадження (становлення). До таких радіотехнологій можна віднести:

- цифрове наземне звукове мовлення стандарту DRM;
- цифрове наземне звукове мовлення стандарту T-DAB;
- цифрове наземне телевізійне мовлення стандарту DVB-T;
- цифровий стільниковий зв'язок IMT-2000 (UMTS/W-CDMA);
- радіотехнології широкосмугового радіодоступу.

Незважаючи на розмаїття сучасних і перспективних радіотехнологій та систем зв'язку, усі вони мають спільну характерну особливість — використання цифрових сигналів. Окрім цього, більшість із цих технологій має чимало спільного як щодо організації мереж, так і щодо застосовуваних методів модуляції радіосигналів.

Наприклад, оптимальною для систем цифрового звукового й телевізійного мовлення стандартів DRM, T-DAB, DVB-T є здебільшого конфігурація мережі у вигляді SFN (тобто робота в сусідніх зонах із використанням однакових блоків частот). Через це в тому чи іншому конкретному пункті з'являються випромінювання від двох чи більшої кількості передавачів (унаслідок перекриття зон сусідніх передавачів), що утруднює їх частотну ідентифікацію, а також унеможливорює пеленгування, визначення місцезнаходження та інструментальне оцінювання параметрів радіовипромінювань передавачів (БС) традиційними методами.

Водночас менший на 7...8 дБ (порівняно з аналоговим звуковим мовленням) рівень вихідної потужності передавача стандарту T-DAB у поєднанні зі значно (на 18...30 дБ) меншим необхідним мінімальним рівнем напруженості поля істотно звужує зону радіодоступності засобів радіомоніторингу. А застосовуваний раніше метод ідентифікації, базований на «слуховому» контролі позивних аналогових радіо- і телевізійних станцій, стає неприйнятним для цифрових передавачів. Що ж до організації радіомоніторингу в смугах частот, виділених для DVB-T і T-DAB, то вона може мати на меті оцінювання зайнятості (завантаження) смуг частот, зон радіопокриття передавачів/мереж і показників якості обслуговування та якості послуг зв'язку.

Ці завдання можна розв'язувати лише з використанням спеціалізованих засобів, які працюють в автоматизованому режимі, здійснюючи «об'їзд» заданих територій і аналіз наявності та рівня сигналу.

Абревіатура LTE (*Long Term Evolution*) останнім часом набуває дедалі більшого поширення в науково-технічній літературі, присвяченій питанням розвитку радіозв'язку.

Інтерес фахівців у галузі радіомоніторингу до цієї радіотехнології зумовлений, з одного боку, тим, що нововведення торкаються радіоінтерфейсу, а з другого — озвученими перспективами впровадження зазначеної радіотехнології. Так, у 2010 році у світі введено в дію близько 60 мереж LTE у піддіапазонах частот 700 МГц і 2,6 ГГц. Згідно з прогнозом майбутньої абонентської бази мереж LTE, який подав Всесвітній мобільний конгрес MWC-2010 у Барселоні, передбачено, що до 2013 року кількість відповідних абонентів перевищить 72 млн.

Розширення можливостей LTE порівняно з попередніми поколіннями стільникового зв'язку базується на використанні:

- технології OFDM у поєднанні з технологією радіодоступу OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*);
- технології MIMO (*Multiple Input – Multiple Output*);
- підтримання двох режимів дуплексу — FDD та TDD;
- масштабування частотних каналів, тобто на можливості застосування технології LTE в каналах із різною (від 1,4 до 20 МГц) шириною.

Останнім часом у науково-технічній літературі активно обговорюються питання розробки й упровадження нових технологій формування та обробки радіосигналів, а також радіотехнологій, що забезпечують прямий доступ користувачів до РЧР (омінаючи чітке регулювання). Ідеться, скажімо, про такі технології:

- комп'ютерне радіо, або радіо із програмувальними параметрами (*Software Defined Radio — SDR*);
- когнітивне радіо (*Cognitive Radio — CR*);
- ресурсно-регулююче радіо (*Policy Defined Radio — PDR*);
- розумне радіо (*Intelligent Radio — IR*).

Для існуючих систем зв'язку і РЕЗ характерна досить жорстка структура передавальних і приймального трактів: *формував сигналів — цифроаналоговий перетворювач — модулятор — вихідний підсилювач — антена* і, відповідно, *антена — УВЧ — демодулятор — РПП — АЦП — пристрій оброблення*. Нині технічно реалізованою є можливість роботи РЕЗ у двох стандартах зв'язку (наприклад, UMTS/W-CDMA + GSM), проте це досягається за рахунок використання двох модулів. Більш того, така реалізація унеможливує роботу РЕЗ у будь-яких інших стандартах зв'язку.

Зауважимо, що технологія SDR змінює пріоритети, і персональний комп'ютер стає ядром РЕЗ. У разі використання SDR практично весь обсяг робіт з оброблення сигналів перекладається на ПЗ, яке керує роботою спеціалізованих мікропроцесорних пристроїв, призначених для оброблення (формування) сигналів. Реалізувати таку операбельність можна лише за допомогою ПЗ, що апріорі є гнучким і адаптивним, здійснюючи обробку прийманих радіосигналів на рівні ПЗ.

Упровадження систем зв'язку на базі технології SDR, безумовно, торкається радіоінтерфейсу. Проте цю технологію доцільно розглядати як один із варіантів технічного вирішення, а не як нову радіотехнологію. І все ж

SDR нині становить основу технічної реалізації систем і пристроїв когнітивного радіо, про що докладніше йтиметься далі.

Результати проведених у середині 1990-х років досліджень ефективності використання РЧС показали, що статичне присвоєння частот може призводити до використання спектра всього на 5–10%. Це змусило звернути увагу на радіосистеми, здатні адаптуватися до зовнішніх умов (навколишнього радіосередовища), істотно підвищуючи ефективність використання РЧС за рахунок реалізації механізму динамічного управління спектром (так звана концепція відкритого спектра, що розглядається як альтернативна модель управління його використанням). Такий механізм дає змогу вторинним користувачам (не закріпленим за даною смугою частот) використовувати смуги первинних користувачів доти, доки вони не знадобляться первинним користувачами. Відмітною особливістю таких систем є здатність аналізувати інформацію з навколишнього радіопростору, прогнозувати можливі зміни каналу зв'язку та оптимальним чином підстроювати свої внутрішні параметри стану, адаптуючись до радіосередовища.

Властивість когнітивності (дослівно — «здатність до пізнання та самонавчання») означає здатність радіосистеми розв'язувати такі завдання [135–137]:

- 1) оцінювати так звану шумову температуру радіосередовища і виявляти «діри» у спектрі (смуги частот, які не використовуються в даний час);
- 2) аналізувати параметри радіоканалу, оцінювати каналну інформацію та прогнозувати стан радіоканалу;
- 3) контролювати випромінювану потужність і здійснювати динамічне управління спектром.

Згідно з визначенням, наведеним у звіті ITU-R, під когнітивним радіо розуміється «радіосистема, що використовує технології радіозв'язку з програмувальними параметрами, адаптивного радіо, а також інші технології з автоматичним настроюванням режиму роботи для досягнення бажаних цілей. Така радіосистема здатна нагромаджувати знання про умови своєї експлуатації, динамічно й самостійно адаптувати свої експлуатаційні параметри до відповідного середовища, запам'ятовуючи результати своїх дій і використовувати моделі для того чи іншого стану навколишнього середовища». Цим забезпечується не лише ефективніше використання спектра, а й запобігання завадам іншим користувачам.

Зауважимо, що в більшості науково-технічних статей поняття *Intelligent Radio* і *Policy Defined Radio (Policy-Based Radio)* розглядаються лише як варіація когнітивного радіо.

На думку багатьох фахівців у сфері регулювання використання РЧР, так званий дефіцит РЧР, який гальмує впровадження нових радіотехнологій, на практиці являє собою не що інше, як [138]:

- по-перше, дефіцит можливостей чинної системи регулювання використання РЧР;
- по-друге, дефіцит методів регулювання використання РЧР.

Результати аналізу можливостей сучасних радіотехнологій показують, що ці технології набагато гнучкіші у використанні спектра, ніж традиційна система частотного планування та розподілу РЧР. Це пояснюється тим, що організація мереж нових радіотехнологій базується на таких засадах (рис. 9.46):

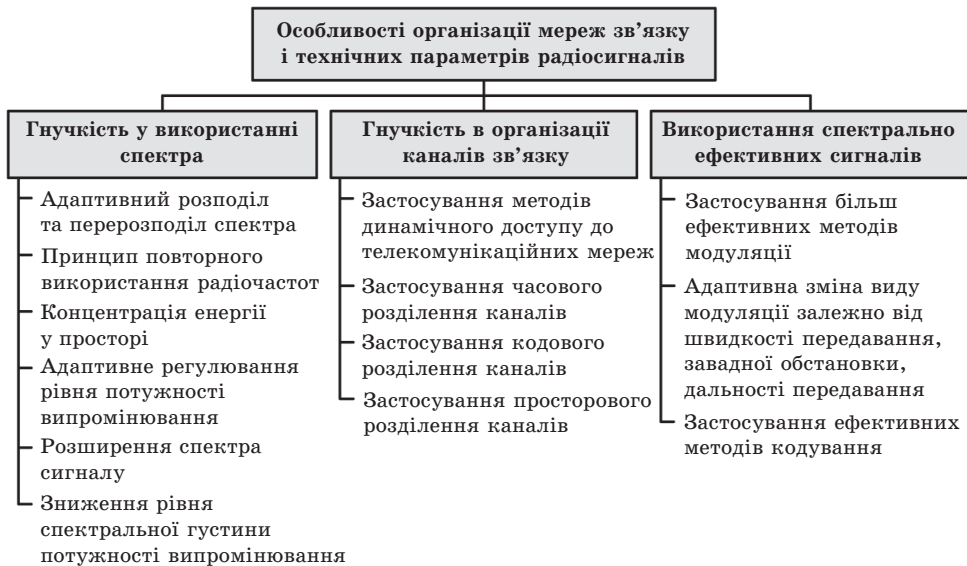


Рис. 9.46. Особливості нових радіотехнологій

- 1) застосуванні ефективніших принципів управління спектром, що забезпечує адаптацію до умов навколишньої радіо- та завадної обстановки;
- 2) гнучкій організації каналів зв'язку;
- 3) використанні спектрально ефективних сигналів і методів їх формування та оброблення.

Гнучкість у використанні спектра означає:

- адаптивний розподіл та перерозподіл частот (смуг частот) для забезпечення ефективнішого використання спектра;
- застосування принципу повторного використання частот;
- концентрацію випромінюваної енергії у просторі;
- застосування адаптивного регулювання рівня випромінюваної потужності сигналу залежно від ЕМО та дальності до абонентського РЕЗ;
- використання надширококузових сигналів (сигналів із розширенням спектра);
- зниження рівня спектральної густини потужності випромінюваних радіосигналів.

Гнучкість в організації каналів зв'язку реалізується завдяки застосуванню методів динамічного доступу до мереж зв'язку, часового, кодового і/або просторового розділення каналів.

Підвищення спектральної ефективності сигналів передбачає застосування більш ефективних методів кодування та модуляції, адаптивної зміни виду модуляції залежно від швидкості передавання, завадної обстановки, дальності лінії зв'язку тощо.

9.12.1.2. Основні напрямки забезпечення радіомоніторингу сучасних і перспективних радіотехнологій

З огляду на зазначені раніше особливості організації мереж DRM, T-DAB і DVB-T, вже нині значна частина засобів радіоконтролю випромінювань передавачів цих радіотехнологій являє собою спеціалізоване обладнання, призначене для радіоконтролю випромінювань конкретних радіотехно-

логій. Розширення переліку контрольованих радіотехнологій і функціональності обладнання досягається за рахунок або розширення опціональності, або встановлення нових модулів. При цьому втрачає сенс виконання таких операцій, як вимірювання окремих параметрів радіовипромінювань — напруженості поля, частоти, ширини спектра сигналу і, особливо, відхилення частоти або ширини смуги частот. Річ у тім, що відхилення частоти (навіть за наявності системи АПЧ) або зміна ширини спектра сигналу здебільшого призводить до зриву сеансу передавання даних, завдаючи головної шкоди операторові (провайдеріві) і абонентам навіть і без істотного ускладнення ЕМО. Набагато важливішим є завдання ідентифікації РЕЗ для визначення легітимності його роботи, розв'язання якого лежить у площині розкриття та аналізу службової інформації.

Забезпечити радіоконтроль випромінювань та ідентифікацію цифрових передавачів радіомовної служби можна лише з використанням спеціалізованих аналізаторів сигналів (так званих векторних аналізаторів). Це дозволить виконувати, наприклад, контроль виду модуляції та інших характеристик без залучення стаціонарних РКП. Отже, стає очевидною необхідність використання спеціалізованих станцій радіоконтролю або рухомих груп (обслуги), оснащених таким обладнанням.

Щойно сказане не меншою мірою стосується систем цифрового стільникового зв'язку ІМТ-2000 стандарту UMTS/W-CDMA з огляду на значно більшу розвиненість мереж цього стандарту порівняно з DVB-T і, особливо, T-DAB (наприклад, на середину 2010 року в Україні функціонувало близько 1,5 тис. БС UMTS/W-CDMA і лише близько 40 передавачів цифрового телебачення стандарту DVB-T). Зважаючи на використання адаптивного регулювання вихідної потужності випромінювання як БС, так і мобільного терміналу, оцінювати зони покриття БС стандарту UMTS/W-CDMA немає жодного сенсу. Може йтися лише про зону покриття мережі. Тому завдання радіомоніторингу зводиться до виявлення випромінювань, визначення номера каналу, оцінювання показників якості обслуговування, якості послуг зв'язку та перевірки легітимності роботи. Результати вимірювання рівня напруженості поля використовуються для оцінювання зони радіопокриття передавача (БС) або мережі. Проте розв'язання цих завдань можливе лише в рамках використання спеціалізованих мобільних (рухомих) станцій, оснащених спеціальним обладнанням (сканерами, тестовими терміналами тощо).

Через велике розмаїття систем ШРД для проведення їх радіоконтролю використовується комп'ютеризоване обладнання, спеціалізоване для контролю конкретних радіотехнологій. Контролювати частотні параметри випромінювань цих радіотехнологій практично немає сенсу. Технічне вирішення щодо радіомоніторингу систем WiMAX може ґрунтуватися на використанні доволі дешевих радіочастотних сигналізаторів (типу КМС UMS100 (UMS120), радіочастотних сенсорів Agilent N8641A, RFeye Node та подібних до них), що працюють в автоматичному режимі та об'єднані в підсистему НВЧ-моніторингу. Принцип дії таких сигналізаторів полягає в перевірці відповідності рівня прийнятого на конкретній частоті випромінювання заданій «масці» («еталонному портрету» електромагнітної обстановки) із подальшим поданням висновків щодо наявності порушень у даній смузі частот.

З урахуванням розглянутих раніше особливостей організації систем LTE слід зазначити, що проводити моніторинг спектра, а також і радіоконтроль випромінювань РЕЗ, що належать до LTE, недоцільно.

9.12.2. Основні тенденції розвитку радіомоніторингу

У загальному вигляді технічні пропозиції щодо забезпечення радіоконтролю параметрів випромінювання РЕЗ деяких нових радіотехнологій викладено в Довіднику з радіоконтролю [3]. Проте ці пропозиції стосуються передусім питань радіоконтролю випромінювань супутникових станцій і методів вимірювання параметрів випромінювань РЕЗ радіотехнологій, що використовують сигнали з розширенням спектра, але не висвітлюють тенденцій розвитку засобів і способів радіомоніторингу, які об'єктивно, незважаючи на технічну політику державних органів регулювання у сфері використання РЧР (органів частотного менеджменту) різних країн, визначатимуть основні напрямки й перспективи розвитку національних систем радіомоніторингу на найближчі кілька років.

У цьому плані значний інтерес для фахівців у сфері регулювання використання РЧР і радіомоніторингу можуть становити матеріали міжнародних семінарів МСЕ, які кожні два роки відбуваються в м. Києві на території УДЦР. Зокрема, останніми роками було проведено семінари на такі теми:

- 1) «Тенденції розвитку національних систем моніторингу використання радіочастотного спектра» (19–21 липня 2006 р.);
- 2) «Радіочастотний моніторинг сьогодні й завтра» (10 липня 2008 р.);
- 3) «Радіомоніторинг і підвищення ефективності використання спектра» (7–8 вересня 2010 р.).

Основні тенденції розвитку радіомоніторингу було визначено ще на семінарі 2006 року. До таких тенденцій було віднесено [138; 141]:

- 1) адаптацію структури й завдань радіомоніторингу до рівня розвитку засобів зв'язку;
- 2) автоматизацію радіомоніторингу;
- 3) розширення функціональних і технічних можливостей радіомоніторингу.

Використовувані дотепер підходи до організації СРЧМ ґрунтувалися на таких положеннях:

- 1) основу СРЧМ становить стаціонарний компонент автоматизованої системи радіоконтролю (АСРК) параметрів випромінювань;
- 2) топологія стаціонарного компонента АСРК визначається згідно з вимогою забезпечення максимального охоплення радіоконтролем аналогових РЕЗ радіотехнологій масового використання (аналогового телебачення, звукового мовлення, УКХ, транкінгового радіозв'язку й передавання даних) у великих містах;
- 3) стаціонарний компонент доповнюється мобільними й портативними засобами для забезпечення радіоконтролю поза зоною його радіодоступності та уточнення результатів у межах цього компонента;
- 4) основне призначення АСРК — забезпечення контролю параметрів радіовипромінювань щодо їх відповідності нормативним вимогам.

Проте разом із поступовим і незворотним відходом у минуле аналогових радіотехнологій масового користування суттєво знижуються значення та ефективність використання стаціонарних станцій, розрахованих переважно на розв'язання завдань радіоконтролю параметрів випромінювань.

Розробляючи стратегію подальшого розвитку СРЧМ, необхідно насамперед брати до уваги два основні критерії:

- 1) затребуваність результатів радіомоніторингу;
- 2) адекватність ужитих заходів щодо ступеня порушення порядку й правил використання РЧР.

Стосовно першого критерію зазначимо, що, як показує практика радіомоніторингу у країнах Європи, порушення в цій сфері трапляються практично в усіх країнах, але їхня кількість постійно скорочується (що, не в останню чергу, є свідченням і результатом ефективного функціонування СРЧМ, з одного боку, і проявом дедалі більшого поширення цивілізованих методів використання РЧР — із другого). Через це все більша частина часу роботи стаціонарних засобів припадає на підтвердження відсутності порушень у сфері використання РЧР. Отже, акценти щодо діяльності СРЧМ неухильно зсуваються: завдання з виявлення порушень і забезпечення дотримання порядку й правил у сфері використання РЧР завдяки періодичному (або постійному) радіоконтролю параметрів випромінювань стають менш пріоритетними, аніж завдання з оцінювання ефективності використання РЧР за допомогою моніторингу спектра й оцінювання його зайнятості (статистиці й динаміки зміни завантаження спектра протягом певного інтервалу часу).

Зауважимо, що застосовувати громіздкі стаціонарні СРЧМ для виявлення ПДН і/або РЕЗ немає жодного економічного сенсу через надзвичайно високу вартість таких процедур і неадекватність уживаних заходів ступеню порушення порядку й правил використання РЧР. Більш того, завдання з пошуку й виявлення ПДН і РЕЗ, які порушують умови виданих дозвільних документів, здебільшого розв'язується із застосуванням мобільних (іноді — портативних) засобів на підставі заявок про наявність та негативний вплив радіозавад на РЕЗ користувачів РЧР.

Згідно з результатами аналізу тенденцій розвитку сфери телекомунікацій, принципами організації мереж і технічних параметрів сигналів радіовипромінювань різноманітних радіотехнологій — як упроваджуваних нині, так і перспективних, можна окреслити такі головні закономірності процесу адаптації структури та завдань радіомоніторингу до рівня розвитку засобів зв'язку:

- 1) зсув акцентів щодо завдань стаціонарного компонента СРЧМ від радіоконтролю в бік моніторингу спектра: оцінювання ступеня використання (*Spectrum Utilization*) і рівня зайнятості (*Occupation*) РЧР;

- 2) розвиток мобільного компонента СРЧМ і подальше поглиблення оснащення рухомих (мобільних) засобів спеціалізованими пристроями радіоконтролю конкретних радіотехнологій;

- 3) оснащення СРЧМ високочутливими портативними вимірювальними засобами, що забезпечують пошук, виявлення та контроль параметрів ви-промінювання малопотужних і надмалопотужних ДРВ.

Тенденція до автоматизації процесів радіомоніторингу передбачає розв'язання питань як системної, так і апаратної автоматизації.

Системна автоматизація впотребує створення єдиної інформаційно-аналітичної та розрахункової системи регулювання у сфері використання РЧР за допомогою інтеграції та налагодження взаємодії кількох автоматизованих систем, зокрема:

- автоматизованої системи планування та регулювання використання РЧР із єдиною БД обліку РЕЗ;

- автоматизованої системи радіомоніторингу;
- автоматизованої білінгової системи.

У загальному вигляді структуру взаємодії складових такої єдиної інформаційно-аналітичної та розрахункової системи регулювання використання РЧР, в основу якої покладено систему частотного менеджменту, було розглянуто раніше (див. рис. 10.16).

Однією з необхідних умов ефективного розв'язання завдань СРЧМ є забезпечення актуалізації даних про присвоєння частот, що їх використовують стаціонарні та мобільні засоби підрозділів радіомоніторингу (радіоконтролю). Виконання останнього завдання потребує забезпечення автоматизованої взаємодії елементів цієї єдиної інформаційно-аналітичної та розрахункової системи на всіх рівнях, починаючи від кожного АРМ і закінчуючи складовими, що являють собою окремі системи. Необхідність такої взаємодії пояснюється тим, що в ряді країн видача дозволу на експлуатацію РЕЗ припускає перевірку наявності національного сертифіката та дозволу на його ввезення, а перевірка легітимності роботи РЕЗ визначається не тільки наявністю в користувача РЧР дозволу на експлуатацію, а й підтвердженням своєчасної оплати певних зборів (як одноразових, так і щомісячних).

Проте слід ураховувати, що в тих країнах, які на момент створення єдиної автоматизованої інформаційно-аналітичної та розрахункової системи вже мають на оснащенні служби частотного менеджменту окремі автономні системи різних виробників, реалізація на практиці системної інтеграції цих систем є, здебільшого, нелегким завданням. Головні труднощі стосуються сполучення інтерфейсів, форматів подання даних і протоколів обміну, за початковим задумом не призначених для забезпечення такої взаємодії, а тим більше — для підтримання автоматизації відповідних процесів.

Глобальний напрямок апаратної автоматизації полягає в переході від автоматизованого до напівавтоматичного режиму роботи АПК радіомоніторингу, що зумовлюється розглянутими далі обставинами.

1. Як уже неодноразово зазначалося, витрати часу на виконання різних операцій істотно різняться, зокрема:

- час, що витрачається СРМ на виконання того чи іншого завдання з вимірювання параметрів і визначення характеристик радіовипромінювання в автоматичному режимі, обмежується кількома секундами;

- час, потрібний операторові стаціонарного РКП для виконання завдань із пошуку, виявлення та вимірювання параметрів радіовипромінювання в автономному режимі обчислюється кількома хвилинами;

- час, що його витрачає оператор на оброблення результатів виконання завдань із радіоконтролю параметрів радіовипромінювання, підготовку й формування звітних документів, досягає десятків хвилин. (За результатами досліджень, проведених УДЦР 2006 року [142], середній час, який витрачається на оброблення результатів технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання одного РЕЗ і формування звітності, становить близько 35 хв, причому це без урахування витрат часу на проїзд фахівців мобільних підрозділів (груп) радіоконтролю для виконання завдань із радіоконтролю, а також на постановку завдань із радіомоніторингу персоналу стаціонарних РКП, аналіз реального стану ЕМО тощо).

Отже, лівова частка робочого часу кваліфікованих працівників (операторів радіоконтролю) витрачається переважно на формування звітних документів.

2. Виявлення порушень у сфері користування РЧР (або відхилень від правил використання), загалом кажучи, є випадковою подією. Підвищення вірогідності оцінювання стану ЕМО базується на дедалі частішому (зокрема й у нічний час) здійсненні радіоконтролю, аж до цілодобового режиму.

3. Використання напівавтоматичного режиму за умови розширення топології АСРМ та збільшення кількості РКП у складі АСРМ сприяє скороченню кількості висококваліфікованих фахівців, задіяних для виконання завдань радіомоніторингу.

Упровадження нових радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, які використовують складні сигнали, зокрема сигнали з розширенням спектра, докорінно змінює вимоги до функціональності й технічних можливостей засобів радіомоніторингу.

Замість контролю частотних параметрів радіовипромінювання на перший план висувається контроль легітимності роботи РЕЗ, який полягає в розкритті змісту службової інформації переданих посилок (повідомлень) із подальшою перевіркою їх реєстрації в БД частотоприсвоєнь (БД обліку РЕЗ). При цьому в деяких випадках (наприклад, у разі сигналів зі стрибкоподібною зміною частоти) цей аналіз необхідно проводити для кожної посилки.

Що ж до вимірювання рівня прийнятого сигналу БС цифрового стільникового зв'язку, то на практиці це завдання розв'язується «зчитуванням» параметра RxLev із прийнятого повідомлення.

Для визначення виду модуляції неодмінно застосовують цифрові методи.

Контроль якості передавання цифрового телевізійного й звукового мовлення забезпечується лише декодуванням цифрових сигналів. А в разі застосування процедури шифрування інформації в системах ШПД навіть із метою розкриття складу службової інформації доводиться використовувати спеціальні методи комп'ютерної обробки.

Таким чином, засіб радіоконтролю перетворюється, по суті, на спеціалізований швидкодійний комп'ютеризований аналізатор і являє собою спрощений варіант абонентського обладнання, спеціалізованого для контролю кількох радіотехнологій.

Основні напрямки розвитку СРЧМ як системи визначаються провідними тенденціями розвитку радіотехнологій. До таких тенденцій належать:

- 1) цифровізація та поглиблення спеціалізації засобів радіозв'язку;
- 2) підвищення спектральної ефективності використовуваних сигналів;
- 3) зниження рівня ЕІВП радіовипромінювання;
- 4) підвищення просторової ефективності використання РЧС.

Безумовно, розглянуті тенденції розвитку радіотехнологій взаємозалежні, оскільки:

- підвищення спектральної ефективності базується передусім на переході до цифрових сигналів, що, у свою чергу, визначає необхідність підвищення просторової ефективності використання спектра;

- спеціалізація радіозасобів призводить до збільшення навантаження на РЧС, але ця проблема розв'язується зниженням ЕІВП передавачів РЕЗ і підвищенням просторової ефективності використання спектра.

Зауважимо, що провідною тенденцією розвитку радіомоніторингу, яка визначає напрямки розвитку СРЧМ, є адаптація структури й завдань радіомоніторингу до рівня розвитку засобів зв'язку. Згідно з результатами про-

веденого аналізу можна виокремити кілька головних тенденцій розвитку систем радіомоніторингу.

1. Зсув акцентів спрямованості завдань СРЧМ від контролю технічних параметрів радіовипромінювань конкретних РЕЗ у бік контролю ЕМО й ступеня використання РЧР.

2. Розвиток стаціонарного компонента СРЧМ за рахунок поступової заміни (із закінченням термінів амортизації або експлуатації) діючих стаціонарних станцій технічного радіоконтролю стаціонарними сигналізаторами, а також нарощування топології системи розгортанням додаткових дистанційно керованих РКП у межах існуючих РПРМ.

3. Підняття верхньої межі смуги робочих частот СРЧМ принаймні до 6 ГГц за рахунок використання нових розробок автоматичних сигналізаторів (зі смугою частот від 20 МГц до 6 ГГц).

4. Поглиблення автоматизації процесів управління та оброблення результатів радіомоніторингу.

5. Спеціалізація мобільних засобів радіомоніторингу, з одного боку, та розширення переліку контрольованих радіотехнологій, функціональних і технічних можливостей обладнання — з другого.

Як уже неодноразово зазначалось, кожна країна (адміністрація зв'язку, державний орган регулювання у сфері використання РЧР) будує свою СРЧМ, виходячи із власних потреб і можливостей. Тому наведені раніше напрямки розвитку СРЧМ для одних країн можна розглядати як тенденції та програми розвитку національних систем радіомоніторингу, а для інших — як підтвердження правильності обраного шляху вдосконалення СРЧМ.

РОЗДІЛ 10

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ ВИКОРИСТАННЯ РЧР

10.1. Загальні положення

Радіочастотний ресурс (РЧР) є невичерпним стратегічним природним ресурсом держави — саме така характеристика найчастіше фігурує в публікаціях, присвячених питанням регулювання (управління) використання радіочастотного ресурсу.

Національний досвід регулювання використання РЧР переконує, що лише адміністративними й технічними заходами не завжди можна досягти високої ефективності використання ресурсу. Управління та регулювання використання РЧР здійснюється із застосуванням сукупності правових, економічних, адміністративних, організаційних і технічних процедур, які ґрунтуються на державних законодавчих актах і положеннях, а також на міжнародних угодах, що сприяють ефективному функціонуванню обладнання радіозв'язку без створення взаємних радіозавад. Від раціонального використання РЧР залежать доходи операторів (користувачів) і податкові відрахування до бюджету держави. Таким чином, у рамках державної системи регулювання використання РЧР для досягнення високої ефективності його використання мають застосовуватися економічні методи.

Ефективне використання РЧР, як і будь-якого іншого ресурсу, означає, що в результаті здійснення відповідної діяльності отримується максимально можливий прибуток для суспільства (держави).

Такий прибуток оцінюється не лише в безпосередньому грошовому еквіваленті, а й характеризує приріст внутрішнього валового продукту, зростання кількості робочих місць, підвищення продуктивності праці, розв'язання соціальних завдань у країні, регіоні тощо. У такому широкому контексті прибуток визначається ефективністю розподілу ресурсу.

Один із критеріїв оптимальності розподілу ресурсів, відомий як *критерій оптимальності Парето*, визначає, що «ресурс розподілено ефективно і загальний прибуток для суспільства є максимальним, якщо неможливо перерозподілити його іншим чином так, щоб комусь стало краще, але при цьому ніхто не постраждав» [4; 143].

Але на практиці застосування цього критерію стикається з низкою перешкод. Передусім це зумовлюється тим, що РЧР уже поділено. Історично так склалося, що радіочастотний спектр достатньо давно (щонайменше років 80-90) вже було розподілено між різними радіослужбами, і навряд чи його перерозподіл у будь-який інший спосіб сприятиме зростанню прибутку для суспільства, швидше навпаки.

Проте радіочастотний ресурс є доволі унікальним ресурсом з огляду на такі обставини:

1) РЧР не є матеріальним об'єктом, тому доступ до нього будь-якого користувача може бути реалізований лише у формі надання *права користування* певною смугою частот на певній території;

2) РЧР *не є предметом купівлі-продажу*; РЧР у вигляді смуги частот виділяється користувачеві на обмежений час;

3) РЧР *не потребує амортизації*, бо не потребує витрат на відновлення;

4) з одного боку, РЧР є *обмеженим* ресурсом, а з другого — він має тенденцію до розширення відповідно до освоєння нових діапазонів частот;

5) РЧР *потребує обслуговування*, тобто забезпечення контролю його використання, усунення дії завадних радіовипромінювань та порушень у сфері користування ним;

6) для РЧР характерна його *невичерпність*: він існував, існує й існуватиме надалі, причому один і той самий ресурс може бути використаний і сьогодні, і завтра.

Водночас РЧР, як і будь-який інший ресурс, має свою ціну. Мета цього розділу — подати огляд відомих підходів до ціноутворення при встановленні плати за РЧР і механізмів його застосування для забезпечення інтересів суспільства та користувачів РЧР.

Стягнення плати з операторів (частотокористувачів) за користування РЧР, із погляду впливу на економічну ефективність операторських компаній, є, безумовно, прогресивним кроком порівняно з безкоштовною видачею ліцензій, якщо тільки розмір відповідних платежів не перевищує реальної ринкової вартості РЧС за період дії ліцензії. У разі, якщо розмір платежів за користування РЧР установлений більшим від зазначеної ринкової вартості, то спектр не буде використаний повністю. Адже навряд чи знайдеться достатня кількість претендентів на всі ділянки спектра, виділені для різноманітних радіотехнологій. Таким чином, якщо розмір плати за користування РЧС перебуває на рівні ринкового попиту потенційних покупців, то спектр буде затребуваним і належною мірою використовуватиметься, а отже, приносить доходи державі.

Утім якщо розмір платежів за користування РЧР встановлено нижче від тієї суми, яку можна було б отримати від аукціону, то економічна ефективність його використання зменшиться, причому навіть тоді, коли залишиться підвищеним попит на спектр. Вочевидь, доходи адміністрації зв'язку від здійснення регулювання використання РЧР будуть нижчими за ті, що їх можна було б отримати на аукціоні.

Основним недоліком встановлення надто низької плати за використання РЧР є те, що спектр потенційно може використовуватися неощадливо, із загрозою щодо його перенавантаження.

10.2. Методи ціноутворення у сфері використання РЧР

Нині існує кілька основних підходів до ціноутворення за використання РЧР:

- 1) фінансування через централізований національний бюджет;
- 2) платежі за використання РЧР;
- 3) аукціони;

- 4) конкурси;
- 5) лотереї;
- 6) застосування гнучких прав на використання РЧР;
- 7) ліцензійні платежі;
- 8) платежі на підставі доходів користувача;
- 9) стимулювальні платежі.

Проаналізуємо переваги та недоліки, притаманні кожному із зазначених підходів.

1. Форма фінансування програм управління використанням спектра через *централізований національний бюджет* донедавна щироко застосовувалася в багатьох країнах [148]. Зміст цього методу полягав у відведенні частки щорічного управлінського бюджету регулювання використання спектра. Утім нерідко рівень фінансування значною мірою залежить від рівня компетенції національних державних органів. До того ж платять (хоча й непрямо) за РЧР одні — населення (через сплату податків), а вигоду від використання певної частини спектра отримують інші — користувачі РЧР (оператори).

Фінансування за таким методом іноді застосовується у країнах, що розвиваються, де бюджетні ресурси надто обмежені, а вигоди від використання РЧР не стали очевидними.

2. *Платежі за використання РЧР* передбачають оплату користувачами деяких або всіх ліцензій за використання РЧР. Такі платежі пов'язані з використанням смуги частот або безпосередньо або непрямо — через управлінські чи податкові платежі користувачів. Головним недоліком такого підходу є те, що згідно з ним не завжди існує зв'язок між рівнем адміністративного платежу та умовами використання РЧР. Рівень платежів залежить від прямих адміністративних витрат на роботу із заявниками, а також загальних витрат адміністративного органу і накладних витрат.

3. Проведення *аукціонів*. Донедавна цей метод був чи не одним із найпоширеніших щодо фінансування програм управління використанням РЧР у США та багатьох країнах Європи. За результатами «відкритого» (так званого англійського) аукціону його переможець сплачує ціну, на якій спинився той, хто зрештою програв. Це створює підґрунтя можливої змови між учасниками аукціону.

Закриті аукціони сприяють конкуренції між учасниками та залученню до участі в аукціоні навіть «слабких» гравців.

Окрім того, аукціони не є запорукою ефективного використання отриманого спектра в майбутньому.

4. У разі застосування *конкурсного* підходу заявки розглядаються з позиції найбільшого задоволення попередньо визначених адміністративним органом умов із застосуванням заздалегідь установлених та опублікованих критеріїв. Фундаментальним недоліком конкурсної процедури є відсутність обґрунтованої системи критеріїв оцінювання заявок учасників і надто тривалий період розгляду заявок та визначення переможця.

5. Метод *лотереї* реалізується випадковим вибором ліцензіатів серед її учасників. Розподіл частот за допомогою лотереї є прозорим і дає змогу швидко ухвалювати рішення. Проте за такого підходу не завжди забезпечується вибір найкращої пропозиції, а прибуток від отримання ліцензії заявником (ухвалення позитивного рішення на користь заявника) отримується лише після надходження коштів за ліцензією.

6. Зміст методу *застосування гнучких правил* щодо використання РЧР полягає в наданні переможцеві права використовувати отриману смугу частот не лише для тих цілей, які передбачено умовами аукціону. Деякі економісти пропонують дозволяти користувачам РЧР передавати свої права на використання смуги частот, а також застосовувати більш гнучкий вибір інфокомунікаційних послуг в її межах. Це дає деяку свободу маневру в межах розподіленої смуги частот, але лише в рамках визначених технічних параметрів. Окрім того, зміна виду послуг не повинна погіршувати умови доступу населення до послуг і виду зв'язку. Природне обмеження такого підходу — забезпечення відсутності радіозавад поза межами присвоєної смуги частот.

7. Зміст методу *ліцензійних платежів* полягає у визначенні суми, яку має бути сплачено за користування деякою смугою частот у межах заданої території. Ліцензійні платежі являють собою спосіб поліпшення економічної та технічної ситуації щодо використання спектра на національному рівні.

Проста структура платежів, наприклад у вигляді компенсації прямих витрат, пов'язаних з обробленням заявки на отримання ліцензії або з виділенням частини РЧС (смуги частот) нерідко може бути прийнятною. Проте в загальному випадку діапазон складності ліцензійних платежів може бути дуже великим — від простої таблиці платежів за одиницю смуги частот (герц, кілогерц, мегагерц тощо) до надскладної формули, яка містить багато параметрів. Утім чимало країн взагалі не стягують плати з державних установ, деякі країни — з неприбуткових організацій.

Основні типи таких платежів установлюються з огляду на вартість витрат, пов'язаних з обробленням заявок на отримання ліцензії, рівень доходів, що їх отримують користувачі ліцензій від використання спектра, а також згідно зі стимулювальними формулами платежів.

Ліцензійні платежі, безумовно, є кроком уперед порівняно з безкоштовною видачею ліцензій, але тільки за умови, що рівень таких платежів є не вищим за той, який був би в разі продажу через аукціон. Адже у протилежному випадку доходи держави від реалізації програм регулювання у сфері використання спектра також будуть нижчими. Окрім того, неадекватний розмір плати за користування РЧР не спонукає користувача більш ощадливо використовувати виділену частину спектра.

8. Платежі на підставі *доходів користувача*, пов'язаних із використанням РЧР, мають перевагу щодо отримання доходів для державних органів (бюджету). Згідно з цим методом плата за користування РЧР становить певний відсоток від доходів операторів і є побічним податком держави, що його вводить національна адміністрація зв'язку стосовно компаній-операторів, які отримують певний дохід від використання спектра. Перевагою цього методу є те, що він дає змогу, з одного боку, зменшувати податкову частину бюджету держави, яка виділяється на управління використанням РЧР та відповідне регулювання, з другого — адміністрації зв'язку отримувати доходи від операторів, які використовують РЧР. Наприклад, за наведеними в [151] даними, щорічний дохід ВАТ «МТС» 1999 року становив 358,4 млн дол. США, а 2000 року — майже 536 млн дол. США. Проте великі компанії-оператори сплачують щоквартально лише 45–55 тис. дол. США, що становить лише менш як 0,0003% від їхніх щорічних доходів. Якщо б такі компанії сплачували за використання РЧР хоча б 0,1% від їхніх річних доходів, то цей податок становив би вже відповідно 360 і 550 тис. дол. США.

Ще одна перевага полягає в зацікавленості національних органів регулювання у сфері використання РЧР у збільшенні доходів операторів зв'язку, що безпосередньо має позначитися на їхньому бюджеті та ефективності фінансування процесу управління. Це має стимулювати виділення спектра тим операторам зв'язку, які ефективніше його використовують.

Проте існує кілька проблем, пов'язаних із застосуванням такої форми оплати. По-перше, цей метод може застосовуватися лише щодо користувачів, які отримують доходи, прямо пов'язані з наданням послуг населенню (оператори стільникового зв'язку, ШРД). Але його неможливо застосовувати до тих операторів, дохід яких є результатом побічного використання спектра (служби швидкої допомоги, таксі, залізниці та інших технологічних користувачів), а також урядових і державних органів, силових структур тощо.

По-друге, така форма оплати не неодмінно забезпечує ефективного використання РЧР через різний рівень доходів різних операторів.

І, нарешті, питання щодо обґрунтування частки оператора, яку він має сплачувати в цьому разі, досі залишається біз відповіді.

Графіки типових залежностей плати операторів за спектр від рівня R їхніх доходів наведено на рис. 10.1.

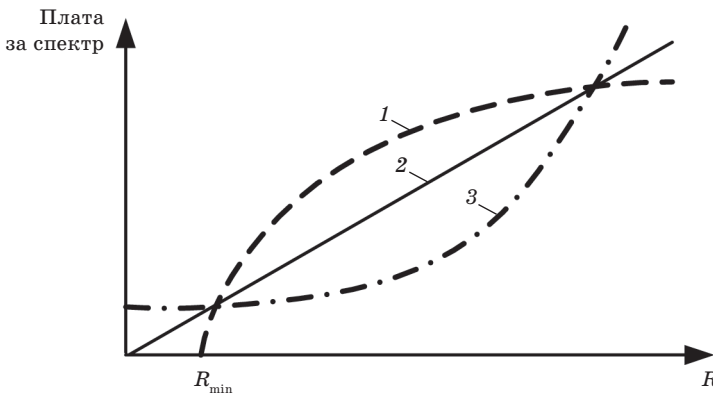


Рис. 10.1. Види залежностей плати за спектр операторів зв'язку від їхніх доходів R : крива 1 — функціональна залежність, яка з певного рівня доходів має етап насичення (за відсутності доходів плата не стягується, а з досягненням оптимального значення доходів, яке визначається адміністрацією зв'язку, плата за спектр зростає незначно, що дозволяє стимулювати оператора до прискореного розвитку мережі); пряма 2 характеризує справедливе ставлення до користувача (використання більшого обсягу РЧС має оплачуватися дорожче); крива 3 відбиває ситуацію стимулювання операторів до найшвидшого вводу мереж зв'язку в експлуатацію та отримання доходів, які компенсують використання спектра (за відсутності доходів оператор має вносити за виділений ресурс плату R_{min})

9. Стимульовальна форма платежів має переваги перед іншими хоча б з огляду на те, що вона враховує обмеженість РЧР. Розмір платежів у цьому разі залежить не лише від ширини виділеної смуги частот та потужності передавача, а й від площі та географічного розташування відповідного регіону, рівня ВВП на душу населення в ньому, комерційної цінності радіослужби тощо.

Недоліком такої форми оплати є те, що жодна формула, хоч би якою складною вона була, не може врахувати всіх змін ринку. Тому складна фор-

мула може дати органам регулювання помилкове відчуття впевненості в тому, що вони можуть визначати розміри платежів, які їм здаються розумними, тоді як насправді вони є значно меншими (або більшими) від тієї ціни, якої можна було б досягти на аукціоні. Окрім того, для деяких радіослужб технічні параметри не дозволяють звужувати ширину потрібної смуги частот взагалі (наприклад, для радіолокаційної служби), а отже, стимулювальні платежі на основі ширини смуги частот можуть бути зовсім неприйнятними.

Виділення ліцензій на користування РЧР України здійснюється на підставі результатів проведення конкурсів або тендерів на отримання ліцензій і визначається Порядком проведення конкурсів або тендерів на отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України, який було затверджено Рішенням НКРЗ України від 06.09.2007 р. № 911 [31].

Згідно із зазначеним документом метою проведення конкурсів є надання в користування смуг (номіналів) радіочастот на конкурентних, прозорих засадах та забезпечення всім суб'єктам господарювання однакових умов отримання ліцензій.

Витрати з підготовки та проведення конкурсу покладаються на НКРЗ. Конкурс складається з трьох етапів:

- підготовка конкурсу;
- проведення конкурсу;
- завершення конкурсу.

Виконання процедур конкурсу та визначення переможця покладається на спеціально створену комісію. Рішення стосовно визначення переможця ухвалюється відкритим голосуванням за більшістю голосів членів комісії.

10.3. Ресурсний підхід до регулювання використання РЧР

Підходи, що їх застосовують адміністрації зв'язку різних країн, коли йдеться про визначення моделі (підходу) оплати за використання радіочастотного ресурсу, істотно різні, і розгляд усіх таких підходів потребував би значних витрат часу. Окрім того, доволі важко відстежити зміни, які відбуваються в законодавстві цих країн. Тому розглянемо це питання з погляду загальних підходів до його розв'язання, запропонованих МСЕ, і спинимося на особливості регулювання економічних відносин у галузі регулювання телекомунікацій в Україні та в Російській Федерації [4; 143; 145].

Згідно з Національною таблицею розподілу смуг радіочастот України [36] увесь РЧР України (смуга радіочастот від 9 кГц до 275 ГГц) розподілено між майже 40 радіослужбами. Згідно з Планом використання РЧР України в Україні у смугах радіочастот загального користування дозволено функціонування 52 радіотехнологій [37], які можна класифікувати за певними ознаками (шириною смуги частот, застосовуваними принципами використання спектра, комерційною привабливістю, поширеністю тощо).

Донедавна (наприклад, ще 5–6 років тому) у більшості країн вартість РЧР (вартість ліцензії на користування РЧР) визначалася лише за одним виміром — як усереднена ціна одиниці смуги частот.

Ресурсний підхід ґрунтується на критерії об'єму використовуюваного РЧР. Цей об'єм визначається у тривимірному просторі як добуток ширини використовуюваної (виділеної) смуги частот, площі території та відповідного інтервалу часу. Загальний «фізичний» об'єм РЧР держави $V_{\text{фіз}}$ можна визначити так:

$$V_{\text{фіз}} = \Delta f \cdot S \cdot T, \quad (10.1)$$

де Δf — загальна ширина смуги частот, придатна на даний час для використання, більш відома як *радіочастотний ресурс*, що нині становить 275 ГГц; S — загальна площа країни; T — звітний час (зазвичай він дорівнює одному року).

При вимірюванні РЧР за одиницю пропонується взяти добуток одиниць частоти, площі охопленої території та часу (наприклад, МГц \times км² \times рік).

В ідеальному випадку $V_{\text{РЧР}}$ — загальний об'єм РЧР держави, задіяний для використання, дорівнює фізичному об'єму з урахуванням коефіцієнта економічності застосовності $A_{\text{екон}}$:

$$V_{\text{РЧР}} = V_{\text{екон}} = V_{\text{фіз}} \cdot A_{\text{екон}}. \quad (10.2)$$

Розглянемо основні принципи, на яких базується ресурсний підхід.

1. Розмір плати за РЧР пропорційний до об'єму, що використовується.

2. Розмір плати залежить від діапазону частот: чим вища смуга за частотою, тим менший її розмір.

3. Розмір плати залежить від густоти розподілу населення на певній території.

4. Чим вища платоспроможність населення в зоні охоплення РЕЗ, тим вищим є розмір плати.

У цьому разі річний об'єм РЧР $V_{\text{РЧР}i}$, використовуваний (або виділений) певним (i -м) РЕЗ, можна визначити так:

$$V_{\text{РЧР}i} = FF_i \cdot TF_i \cdot T_i \cdot OF_i, \quad (10.3)$$

де $FF_i = \Delta f_i \cdot K_f$ — частотні фактори, кількісні характеристики яких визначаються шириною смуги частот Δf_i , використовуваної (виділеною) певним (i -м) користувачем, і деяким коефіцієнтом K_f , який урахує стимули для роботи користувачів у вищих діапазонах (смугах) частот;

$TF_i = S_i \cdot Q_i \cdot R_i$ — територіальні фактори, кількісні характеристики яких визначаються розмірами (площею S_i) території роботи (зони охоплення) РЕЗ, в якій надаються послуги певним (i -м) користувачем, густотою населення, що враховується коефіцієнтом Q_i , а також платоспроможністю населення в даному регіоні, котру характеризує коефіцієнт R_i ;

T_i — часовий фактор, що визначається періодом часу, протягом якого функціонує певний РЕЗ;

OF_i — соціально-економічні фактори, які є кількісною характеристикою комерційної привабливості певного частотоприсвоєння (визначається коефіцієнтом H_i), складності та трудомісткості проведення радіоконтролю в зоні дії цього РЕЗ (враховується коефіцієнтом M_i), соціальної значущості присвоєння (визначається коефіцієнтом W_i), а також характеристикою ступеня спільного використання певної смуги радіочастот (враховується коефіцієнтом E_i)

$$OF_i = \frac{H_i \cdot M_i}{W_i \cdot E_i}. \quad (10.4)$$

Дамо пояснення щодо деяких чинників (які враховуються відповідними коефіцієнтами).

● Коефіцієнт H_i , що враховує комерційну привабливість, можна визначити показниками середньої рентабельності галузей або, наприклад, узяти $H_i = 2$ для операторів, які надають послуги, і $H_i = 1$ для інших операторів.

● Загальновідомо, що здійснювати радіоконтроль у болотистій або прикордонній місцевості важче, ніж у містах. До того ж, на думку багатьох експертів, контролювати смуги частот, в яких працюють телевізійні оператори, потрібно частіше, ніж телефонію та звукове мовлення. Складність і важкість радіоконтролю, а також інших процедур регулювання можна враховувати коефіцієнтом M_i .

● У разі застосування оплати за використання РЧР деякими категоріями користувачів (наприклад, органами державного управління, охорони здоров'я, МНС, МВС, пожежної безпеки, безпеки морського і річкового судноплавства, автомобільного транспорту тощо) тарифи на оплату для них мають бути меншими, ніж для бізнесу, що можна врахувати коефіцієнтом W_i .

Згідно з формулами (10.2) і (10.3) можна вважати, що коефіцієнт економічної застосовності $A_{\text{екон}}$ подається такою рівністю:

$$A_{\text{екон}} = K_f \cdot Q \cdot R \cdot OF, \quad (10.5)$$

де K_f — коефіцієнт, який ураховує стимули для роботи користувачів у вищих діапазонах (смугах) частот; Q — коефіцієнт, що враховує густоту населення; R — загальний коефіцієнт, що враховує платоспроможність населення; OF — коефіцієнт, який враховує соціально-економічні фактори.

Запропонований (ресурсний) підхід є доволі привабливий, але деякі його позиції потребують роз'яснення.

По-перше, і досі не з'ясовано, як ураховувати територіальні чинники для радіотехнологій (систем зв'язку) фіксованого радіодоступу (наприклад, радіорелейних ліній), а також систем, зони охоплення яких перекриваються (перетинаються), як це характерно для систем стільникового зв'язку, радіомовної служби й тих самих радіорелейних ліній.

По-друге, деякі системи зв'язку можуть працювати не весь час, на який виділена певна смуга радіочастот (рік, п'ять років тощо).

По-третє, одну й ту саму смугу частот на одній і тій самій території може бути виділено кільком користувачам. Найхарактерніший приклад такої ситуації маємо в Лондоні, де однією й тією самою виділеною смугою частот у різний час користуються:

- великий супермаркет (із 6.00 до 24.00);
- міська служба з прибирання сміття (із 0.00 до 6.00).

Але цей приклад є, швидше, винятком, аніж правилом.

Нарешті, деякі радіотехнології взагалі можуть не вимагати проведення будь-якого радіоконтролю, як, скажімо, смуги частот, що не потребують ліцензування — U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) виділених у США та інших країнах, які визнали правила використання спектра FCC (*Federal Communication Commission*) на безліцензійній основі.

На практиці ресурсний підхід реалізується у вигляді диференційованої оплати для різних радіотехнологій у різних регіонах.

Такий підхід нині широко застосовується в багатьох країнах.

Проте й донині в Росії та Україні застосовується так званий витратний метод установа розмірів платежів. Розмір платежів за користування РЧР в Україні визначено Постановою 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]. Оплата за використання РЧР реалізується у

формі оплати за видачу ліцензії на користування РЧР України. Мірою оплати визначено вартість ширини смуги частот 1 МГц.

Розміри оплати для різних радіотехнологій у різних регіонах України суттєво різняться. Наприклад, розмір плати за 1 МГц спектра у смузі частот від 3 до 470 МГц для систем стільникового радіозв'язку в м. Києві у 8 разів більша, ніж у Дніпропетровській, Донецькій або Одеській області. А розмір плати за 1 МГц спектра для стільникового радіозв'язку у смузі частот 1,7... 2,2 ГГц у 4 тис. разів перевищує плату за 1 МГц спектра для радіорелейного зв'язку фіксованої радіослужби у смугах радіочастот 30... 3000 МГц і 30 МГц ... 300 ГГц.

У Російській Федерації порядок і розміри плати за використання РЧР комерційними організаціями та індивідуальними підприємцями згідно з обмеженим переліком послуг, який включає в себе надання послуг рухомого зв'язку, зв'язку персонального радіовиклику, персонального глобального супутникового зв'язку, надання послуг розподільними телевізійними системами типу MMDS, LMDS і MVDS, визначено Постановами уряду РФ від 02.06.1998 р. № 552 та від 06.08.1998 р. №895. Згідно з відомостями на 2008 рік, плата за використання РЧР не стягується з державних користувачів РЧС — військових, урядових та деяких інших відомств. Проте в багатьох країнах Європи з цих користувачів стягується повна плата навіть за використання РЧС в інтересах оборони.

Слід також констатувати, що принципи та загальні умови плати за використання РЧР, уведені зазначеними постановами в РФ, не ураховують потреб фінансування процедур конверсії в інтересах упровадження та розширення користування перспективними радіотехнологіями. За ствердженням російських експертів [156], чинна система стягування платежів за спектр не стимулює ефективного його використання.

У РФ щорічну плату встановлено в розмірі двократного тарифу на послуги з регулювання РЧС, що включає в себе лише витрати радіочастотних служб на радіоконтроль (експлуатаційні збори), причому половина коштів іде на відшкодування витрат органів регулювання користування РЧР, а ще половина — у дохід федерального бюджету. Нині розмір щоквартальної плати для оператора рухомого зв'язку становить 50–110 тис. дол. США.

На практиці стягування адекватної плати за використання РЧС, яка відповідає ринковій вартості, застосовується в багатьох європейських країнах, зокрема у Великобританії, Швейцарії, Німеччині, Угорщині, Хорватії, Данії, Естонії, Фінляндії, Норвегії, Польщі.

За періодичністю сплати та цільовою спрямованістю платежі бувають:

- **разові**, які сплачуються один раз за весь період роботи РЕЗ користувача;
- **регулярні**, які сплачуються періодично (щомісячні, щоквартальні, щорічні).

Ліцензійні платежі за отримання ліцензій на користування РЧР іноді розглядаються як один із різновидів разових платежів, але здебільшого вони виділяються в окрему категорію, хоча, як правило, сплачуються також один раз. Тоді разові платежі є формою компенсації витрат радіочастотної служби для розв'язання завдань щодо розрахунків ЕМС, проведення тестових і/або натурних випробувань, досліджень тощо.

Розглянуті щойно платежі належать також до **разових платежів**.

Разові платежі сплачуються, як правило, за забезпечення конверсії та переведення діючих РЕЗ (систем зв'язку) в інші діапазони (смуги) частот (питання конверсії буде розглянуто далі).

Розмір загальних платежів за використання РЧР складається з платежів $C_{\text{РЧС}}$ для підтримання функціонування радіочастотної служби (служби планування та розподілу РЧР і служби радіомоніторингу) і платежів за конверсію РЧР $C_{\text{конверс}}$ [146–148].

Для визначення розмірів щорічних платежів необхідно оцінити загальні витрати радіочастотної служби $C_{\text{РЧС}}$, включаючи:

- капітальні витрати;
- витрати на здійснення радіомоніторингу;
- витрати на проведення досліджень щодо визначення можливості впровадження нових радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку тощо.

Тоді розмір питомих платежів (платежів за одиницю об'єму спектра) можна розрахувати за такими формулами:

$$P_{\text{РЧР}} = \frac{C_{\text{РЧС}}}{V_{\text{існ РЧР}}}, \quad (10.6)$$

$$P_{\text{конверс}} = \frac{C_{\text{конверс}}}{V_{\text{нов РЧР}}}, \quad (10.7)$$

де $V_{\text{існ РЧР}}$ — об'єм існуючого РЧР (виділеного або використовуваного); $V_{\text{нов РЧР}}$ — об'єм РЧР, який виділяється для нових частотоприсвоєнь.

Визначивши питомі платежі — щорічний (10.6) і разовий (10.7), можна обчислити розміри щорічних $\Pi_{\text{щ.р } i}$ та разових $\Pi_{\text{раз } i}$ платежів за деяке (i -те) частотоприсвоєння:

$$\Pi_{\text{щ.р } i} = P_{\text{РЧР}} \cdot V_{\text{існ ЧП } i}, \quad (10.8)$$

$$\Pi_{\text{раз } i} = P_{\text{конверс}} \cdot V_{\text{нов ЧП } i}, \quad (10.9)$$

де $V_{\text{існ ЧП } i}$ — об'єм РЧР, потрібний для одного (i -го) РЕЗ, що нині функціонує; $V_{\text{нов ЧП } i}$ — об'єм РЧР, потрібний для одного (i -го) РЕЗ (який виділяється для одного частотоприсвоєння).

Наприклад, за 2003 рік *загальний об'єм РЧР* Російської Федерації (з урахуванням **1 024 252 частотоприсвоєнь**) становив **135 млн мегагерц на кілометр квадратний**. А розрахована ціна РЧР (одиниці об'єму) дорівнювала **18,38 руб.**

Відомості щодо розмірів разових і регулярних (поточних) платежів за використання смуг спектра для фіксованої супутникової служби, які застосовуються в різних європейських країнах, наведено в табл. 10.1 [150].

Відомості про вартість ліцензій 3G у деяких європейських країнах наведено в табл. 10.2.

Загальна сума коштів, що їх витратили оператори на придбання ліцензій 3G у 2004 році становила 109,1 млрд євро.

Після завершення конкурсів і аукціонів умови виданих ліцензій у деяких країнах було визнано надто завищеними, і регуляторні органи цих країн внесли деякі зміни до них. Так, у Франції для переможців ліцензійного конкурсу було переглянуто об'єми й строки вже виданих ліцензій. Окрім того, операторським компаніям було дозволено продавати (перепродавати) свої права на виділений ресурс.

**Разові та регулярні платежі за використання РЧР
фіксованою супутниковою службою у країнах Європи**

Країна	Разовий платіж	Погочні (регулярні) платежі за РЧР	Примітки
1	2	3	4
Австрія	За частотоприсвоєння (ЧП): 98 євро — для VSAT; 1964 євро — для ЗССЗ; 14 євро — до 1 Вт	За місяць: 36 євро — від 1 до 6 Вт; 51 євро — від 6 до 30 Вт; 109 євро — від 30 до 150 Вт; 327 євро — від 150 до 1000 Вт; 654 євро — понад 1000 Вт	Смуга частот та призначення не уточнюються
Бельгія	За ЧП: 795 євро — для VSAT; 1854 євро — для ЗССЗ	За рік: 54 євро — до 0,2 МГц; 530 євро — від 0,2 до 2 МГц; 2383 євро — від 2 до 18 МГц; 4764 євро — понад 18 МГц	ЕІВП та призначення не враховуються
Хорватія	Оплата за мережу VSAT залежить від кількості станцій й здійснюється щорічно	За рік: 260 євро — до 9,6 кбіт/с; 520 євро — від 9 до 64 кбіт/с; 1064 євро — від 64 до 512 кбіт/с; 2080 євро — більше 512 кбіт/с	Зі збільшенням мережі розмір разового платежу зменшується. ЕІВП та призначення не враховуються
Чехія	Сплачується ЧП для кожного VSAT	За рік: 300 євро — до 4 МГц; 75 євро за смугу, яка перевищує або дорівнює 4 МГц	ЕІВП та призначення не враховуються
Естонія	Оплата за реєстрацію	Оплата диференційована за діапазонами частот. Для частот понад 10 ГГц за рік: 38 євро — до 0,1 МГц; 230 євро — від 0,1 до 1 МГц; 460 євро — від 1 до 10 МГц; 613 євро — від 10 до 50 МГц; 2300 євро — понад 50 МГц	Розмір плати зменшується зі зростанням частоти. Для 3...10 МГц плата приблизно втричі вища
Угорщина	Не застосовується для супутникового зв'язку	Для станцій типу VSAT плата становить 3,9 євро на місяць за станцію. Для ЗССЗ залежить від займаної смуги частот	Для ЗССЗ дискрет становить 19,2 кГц
Ірландія	За ЧП ЗССЗ: 100 євро — якщо кількість станцій менша від 10; 25 євро — якщо кількість станцій більша від 10	Оплата диференційована за діапазонами частот та рівнем ЕІВП. Для смуги частот від 10 до 15 ГГц за рік: 500–1500 євро — до 50 дБВт; 750–1750 євро — від 50 до 75 дБВт; 1000–2000 євро — понад 75 дБВт	Клас VSAT виділений побічно, із рівнем ЕІВП = 50 дБВт
Італія	За ЧП ЗССЗ: 530 євро — без координат; 2070 євро — із координатцією	За всю мережу за рік: 1032 євро — до 0,1 МГц; 5165 євро — від 0,1 до 1 МГц; 10330 євро — від 1 до 10 МГц; 20660 євро — понад 10 МГц	Зі збільшенням кількості станцій оплата зменшується
Норвегія	Частотоприсвоєння надається на 5–8 років залежно від розміру мережі	Диференціацію введено за діапазонами частот на термін дії ЧП: 618 євро — для частот до 3 ГГц; 371 євро — для частот від 3 до 10 ГГц; 247 євро — для частот понад 10 ГГц;	Для великих мереж застосовується оптова ціна 1237–3711 євро

1	2	3	4
Португалія	Залежно від необхідності координації	За ЗССЗ за рік: 51 євро — до 0,2 МГц; 127 євро — від 0,2 до 2 МГц; 1272 євро — від 2 до 18 МГц; 7632 євро — понад 18 МГц	Клас VSAT не виділений
Іспанія	Застосовується складний розмір оплати	Застосовується складне визначення з огляду на розміри площі території та смуги частот залежно від діапазону, радіотехнології, регіону, призначення мережі	

Таблиця 10.2

Вартість ліцензій 3G у деяких європейських країнах

Країна	Термін, на який видано ліцензію, років	Вартість ліцензії, євро
Фінляндія	20	0
Швеція	15	11 тис.
Італія	15	2,56 млн
Швейцарія	15	33,4 млн
Португалія	15	100 млн
Іспанія	20 із пролонгацією на 10	131 млн + щорічна плата
Бельгія	20	150 млн
Нідерланди	15	540 млн
Франція	20	619 млн
Великобританія	20	7,56 млрд
Німеччина	20	8,3 млрд

Ресурсний підхід має істотні переваги порівняно з іншими підходами. Розглянемо ці переваги докладніше.

1. Зазначений підхід економічно стимулює користувачів працювати в порівняно вільних високочастотних ділянках спектра.

2. Цей підхід спонукає користувачів до ощадливого й ефективного використання РЧР за рахунок зменшення зони радіопокриття завдяки зниженню потужності випромінювання радіопередавача й висоти підвішення антени та застосуванню гостроспрямованих антен.

3. Стимулює бізнес поширювати свою діяльність у віддалені й малонаселені регіони країни.

4. Відповідна методика розрахунку розмірів платежів є прозорою для користувачів, що сприяє зменшенню судових колізій.

5. Відповідний метод ціноутворення не залежить від зміни радіотехнології, оскільки за визначеного об'єму РЧР технічні характеристики й параметри РЕЗ уже враховано.

Зауважимо, що через необхідність розрахунку ціни конверсії в рамках ресурсного підходу перед радіочастотною службою постає доволі складне завдання — спрогнозувати попит на РЧР на запланований період.

Загалом упровадження ресурсного підходу вимагає постійної підтримки в належному стані існуючої БД обліку РЕЗ (обліку частотоприсвоєнь), що за наявності у країні понад 200 тис. РЕЗ і ВП є вкрай важким завданням.

10.4. Ефективність використання РЧР та способи її оцінювання

Попит на РЧР постійно зростає, тому питання про те, наскільки ефективно він використовується, є дуже актуальним.

У деяких працях ефективність використання спектра (ЕВС) пропонується вимірювати за допомогою параметра, який дорівнює відношенню кількості M переданої інформації до об'єму V використовуваного спектра:

$$\text{ЕВС} = M/V. \quad (10.10)$$

Під об'ємом V спектра розуміємо узагальнений показник, що враховує ширину використовуваної смуги частот, площу зони охоплення та час роботи РЕЗ.

Міри ефективності використання спектра різними радіотехнологіями, системами й радіослужбами значно різняться з огляду на застосування різних принципів охоплення простору й часових режимів роботи. Через це порівнювати різні радіотехнології за цим показником (який до того ж є швидше технологічним) принаймні некоректно.

Для з'ясування ефективності використання РЧР доцільно визначити суб'єктів, для яких це питання є актуальним. Передусім це такі суб'єкти:

- держава як власник РЧР і одержувач доходів від його використання;
- національний орган регулювання у сфері користування РЧР, який відповідає за результати використання РЧР;
- користувачі РЧР, які реалізують свої бізнес-проекти;
- споживачі інфокомунікаційних послуг, які отримують нові види таких послуг.

Як показники ефективності регулювання та використання РЧР доцільно розглядати:

1) рівень віддачі від одиниці ресурсу;

2) податкові надходження до держбюджету за рахунок використання РЧР.

Рівень віддачі від одиниці ресурсу $E_{\text{РЧР}}$ можна обчислити за такою формулою:

$$E_{\text{РЧР}} = \frac{\text{Дохід держави}}{V_{\text{РЧР}}}. \quad (10.11)$$

Як доходи держави можна розглядати платежі користувачів РЧР, прями податкові надходження від радіочастотної служби, частину податкових надходжень від доходів, пов'язаних із використанням РЧР.

Податкові надходження до державного бюджету від використання РЧР користувачами-операторами формуються за рахунок:

- податків на прибуток за відповідною ставкою;
- податку на додану вартість;
- податку на майно за певною ставкою;
- прибуткового податку з працівників за певною ставкою;
- решти податків за певними ставками.

Податкові надходження від користувачів РЧР, які не є операторами, формуються за рахунок податків на прибуток і податку на майно (обладнання РЕЗ).

Про ефективність використання РЧР можна також судити за динамікою зміни ціни радіоконтролю. Проте в разі зменшення тарифів за проведення радіоконтролю цей показник застосовувати неможливо (хоча загалом вартість

радіоконтролю постійно зростає, що зумовлено використанням новішого, а отже, і дорожчого обладнання).

Динаміку зміни ціни радіоконтролю в часі t можна визначити за такою формулою:

$$P_{\text{РЧР}}(t+1) = \frac{C_{\text{контр}}(t+1)}{V_{\text{існРЧР}}(t+1)} = \frac{C_{\text{контр}}(t)(1+i)(1+a)}{V_{\text{існРЧР}}(t)(1+b)}, \quad (10.12)$$

або

$$P_{\text{РЧР}}(t+1) = P_{\text{РЧР}}(t) \frac{(1+i)(1+a)}{(1+b)}, \quad (10.13)$$

де i — темп інфляції; a — неінфляційний темп зростання витрат радіочастотної служби; b — темп зростання об'єму РЧР у країні.

Отже, темп зростання ціни радіоконтролю визначається співвідношенням:

$$\frac{P_{\text{РЧР}}(t+1)}{P_{\text{РЧР}}(t)} = \frac{(1+a)}{(1+b)}. \quad (10.14)$$

Результати досліджень [143] показують, що коли рівень зростання витрат радіочастотної служби більший за рівень зростання об'єму РЧР у країні, то економічна ефективність радіочастотної служби знижується, у протилежному випадку — зростає.

Зазвичай ефективність використання РЧР оцінюють, розглядаючи дві складові:

- 1) технологічну ефективність використання РЧР (ТЕВ);
- 2) економічну ефективність використання РЧР (ЕЕВ).

Технологічну ефективність залежно від цільової спрямованості оцінки можна оцінювати різними параметрами:

- кількістю інформації, що передається за одиницю часу на одиницю ширини спектра, біт/(с · Гц), що залежить від форми сигналу, виду модуляції, рівня шуму в каналі тощо;

- кількістю інформації, яка щороку передається одиницею об'єму $V_{\text{фіз}}$ РЧС, біт/(МГц · км²):

$$\text{ТЕВ} = \frac{\text{Кількість інформації}}{V_{\text{фіз}}}; \quad (10.15)$$

- максимальною щорічною кількістю абонентів на одиницю об'єму $V_{\text{фіз}}$ РЧС, тис. осіб/(МГц · км²):

$$\text{ТЕВ} = \frac{\text{Максимальна кількість абонентів}}{V_{\text{фіз}}}; \quad (10.16)$$

- обсягом річного трафіку на одиницю об'єму $V_{\text{фіз}}$ РЧС, тис. хв/(МГц · км²):

$$\text{ТЕВ} = \frac{\text{Обсяг трафіку}}{V_{\text{фіз}}}. \quad (11.17)$$

Зауважимо, що показник ЕЕВ є характеристикою обладнання. У загальному випадку його можна оцінити ступенем наближення до теоретичної межі — так званої *межі Шеннона* C_0 , яка являє собою граничну швидкість передавання інформації, біт/с:

$$C_0 = \Delta F \log_2(1 + P_c/P_{\text{ш}}). \quad (10.18)$$

Тут ΔF — ширина смуги пропускання каналу; $P_c, P_{ш}$ — потужність відповідно корисного сигналу та шуму.

У разі застосування цього показника відношення швидкості передавання C_x будь-якої радіотехнології до значення C_0 може бути її характеристикою: якщо $C_x/C_0 \ll 1$, то радіотехнологія вважається недосконалою (неефективною), а з наближенням значення C_x/C_0 до одиниці радіотехнологія стає дедалі досконалішою (ефективнішою).

У [143] виведено формулу, яка характеризує взаємозв'язок між технологічною та економічною ефективністю використання РЧР: граничне значення показника ефективності використання будь-якої технології передавання інформації протягом одного року на площі S визначається формулою

$$\text{ТЕВ} = (1/S) \cdot \log_2(1+P_c/P_{ш}). \quad (10.19)$$

При цьому

$$\text{ЕЕВ} = \text{ТЕВ} \cdot \frac{\text{Дохід держави}}{(\text{Кількість інформації}) \cdot A_{\text{екоп}}}. \quad (10.20)$$

Такий зв'язок між економічними та технологічними показниками ефективності має розраховуватися для кожної радіотехнології окремо. При цьому коефіцієнт $A_{\text{екоп}}$ обчислюється як усереднений показник за всіма частотоприсвоєннями, що використовують цю радіотехнологію.

10.5. Конверсія РЧС з економічного погляду

Конверсія (від лат. *conversio* — перетворення) спектра передбачає такі дії:

2) переведення силових структур або цивільних користувачів в інші діапазони (смуги) частот;

1) передачу смуг радіочастот, які не використовуються, від силових структур у цивільне використання.

Головна мета конверсії РЧС — підвищення ефективності використання РЧР на державному рівні.

Що ж до конверсії РЧР, то головною проблемою тут є забезпечення перспективних радіотехнологій «кондиційним» (готовим до експлуатації) радіочастотним ресурсом.

Життєва необхідність проведення конверсії РЧС зумовлюється тим, що майже в усіх країнах РЧС поділяється на дві категорії: до однієї належать смуги радіочастот загального, а до другої — спеціального користування. У деяких країнах, наприклад у Росії, РЧС поділяється на три категорії: урядового, цивільного та спільного використання (призначення).

У світовій практиці існує кілька підходів до розв'язання завдань перерозподілу РЧР між різними радіослужбами, але вони стосуються переважно РЕЗ цивільного (загального) призначення й не ускладнені міжвідомчими (політичними) розбіжностями стосовно розв'язання цієї проблеми.

В європейських країнах протягом 1999–2000 років було проведено ретельні дослідження питань перспективного використання РЧС. За їх результатами було ухвалено рішення Європейського радіобюро (ERO), яке встановлює графік вивільнення у країнах європейського континенту смуг радіочастот, потрібних для розвитку багатьох перспективних радіотехнологій (передусім радіомовної служби) від РЕЗ урядового призначення та застарілих РЕЗ цивільного призначення.

Більшість європейських країн нині вже узгодили свої національні таблиці розподілу смуг частот між радіослужбами із загальноєвропейською таблицею, в якій частка РЧС, виділена для служб урядового призначення, не перевищує 30–40%.

Згідно із Законом України «Про радіочастотний ресурс України» під конверсією радіочастотного ресурсу України розуміється **виконання комплексу заходів, що передбачає зміну радіослужб і/або радіотехнологій чи категорій користувачів радіочастотного ресурсу України для подальшого використання певної смуги (смуг) радіочастот.**

Отже, завдяки конверсії радіочастотного ресурсу України має бути вивільнено частину РЧР (радіочастоти або смуги радіочастот) для подальшого використання цього ресурсу користувачами інших категорій і/або впровадження інших стандартів і технологій.

Варто наголосити, що конверсія РЧР України здійснюється на виконання Плану використання РЧР України, а також стратегічних завдань держави у сфері впровадження сучасних телекомунікаційних та інформаційних технологій.

Головні принципи конверсії РЧС такі.

1. Принцип розумної інерційності, згідно з яким конверсія РЧС не є самоціллю. Необхідність і доцільність конверсії зумовлюються насамперед тим, що вона створює передумови для впровадження нових високоефективних радіотехнологій, які забезпечать інформаційний розвиток держави, а її населення — новітніми видами та послугами зв'язку.

2. Принцип збереження пріоритетності потреб категорії спеціальних користувачів (смуг частот урядового призначення).

3. Принцип рівноправного доступу до смуг РЧС спільного використання (у разі їх наявності).

4. Принцип достатності РЧР, який передбачає надання РЧР для нових радіослужб і радіотехнологій та неприпустимість невмотивованого резервування РЧР.

5. Принцип економічного ціноутворення, який означає, що рішення стосовно конверсії має ухвалюватися лише на підставі науково-економічного обґрунтування проекту конверсії РЧС (бізнес-плану). Визначальним чинником має бути співвідношення витрат на фінансування дій із вивільнення спектра та віддачі від його використання.

6. Принцип поетапної конверсії РЧС.

7. Принцип прозорості.

8. Принцип фінансових гарантій для користувачів, чиї РЕЗ має бути переведено в інші смуги частот.

На етапі підготовки державної програми конверсії потрібно визначити:

- які частоти (смуги частот) і для кого саме належить вивільняти;
- вартість конверсії;
- хто має сплачувати за конверсію;
- хто має виконувати роботи з конверсії РЧС;
- як оцінити ефективність конверсії.

Загалом для фінансового забезпечення розв'язання питань конверсії РЧС пропонується використовувати разові та ліцензійні платежі (РП і ЛП). У цьому разі розмір частки річного фонду конверсії (РФК) складається з надходжень від ЛП та РП:

$$P_{\Phi K} = \sum_i P\Pi_i + \sum_i J\Pi_i, \quad (10.21)$$

де i — загальна кількість користувачів.

Якщо розмір $P_{\Phi K}$ недостатній для забезпечення конверсії, то держава може взяти на себе відповідні дотації. (Дотаційні витрати на конверсію повернуться державі за кілька років).

Для визначення вартості $P_{\text{конв}}$ конверсії необхідно знати розмір $C_{\text{конв}}$ загальних витрат на конверсію РЧС та переведення діючих РЕЗ в інші діапазони частот і прогнозовану кількість $V_{\text{ЧП}}$ тих РЕЗ, яким протягом певного строку (принаймні в період повної реалізації проекту конверсії) буде здійснено частотоприсвоєння (ЧП). Тоді вартість конверсії можна визначити так:

$$P_{\text{конв}} = \frac{C_{\text{конв}}}{V_{\text{ЧП}}}. \quad (10.22)$$

Зауважимо, що реалізація державної програми конверсії в РФ базувалась на кількох основних положеннях, які, вочевидь, лишаються чинними й для нашої держави.

1. Існує «старий» користувач ділянки дефіцитного РЧР, якого можна перевести в інший, менш завантажений діапазон частот із новими частотними присвоєннями, що надається державою через радіочастотну службу. Старим користувачем може бути комерційна фірма, яка використовує РЕЗ із технологічною метою, структура (підрозділ) Міністерства оборони або інших силових відомств.

2. Існує претендент на комерційне використання ділянки дефіцитного РЧР, який має намір і здатність розгорнути свій бізнес (наприклад, надавати інфокомунікаційні послуги), внести разовий платіж за цю ділянку РЧР, сплачувати регулярні (щорічні) платежі на утримання радіочастотної служби і сплачувати податки державі.

3. Радіочастотна служба разом зі старим користувачем може підготувати бізнес-план проекту конверсії спектра (переведення РЕЗ в інший діапазон частот), в якому знайдуть обґрунтування:

- потрібні інвестиції на закупівлю та інсталяцію нового (або модернізацію старого) обладнання для старого користувача;
- поточні витрати радіочастотної служби на конверсію;
- нові надходження до держбюджету, які визначають строк окупності проекту для держави.

4. Держбюджет може профінансувати зазначені інвестиції через радіочастотну службу.

5. Радіочастотна служба разом зі старим користувачем реалізує цей бізнес-план і звітує перед державними установами (органами) щодо його виконання.

Таким чином, здебільшого конверсія спектра розглядається як інвестиційний проект, в якому інвестором є держава. Учасниками цього проекту поряд із державою виступають:

- радіочастотна служба;
- старий користувач дефіцитного РЧР;
- новий користувач, який претендує на перспективний РЧР.

Загальну структуру фінансово-економічної взаємодії учасників проекту конверсії РЧС унаочнює рис. 10.2.

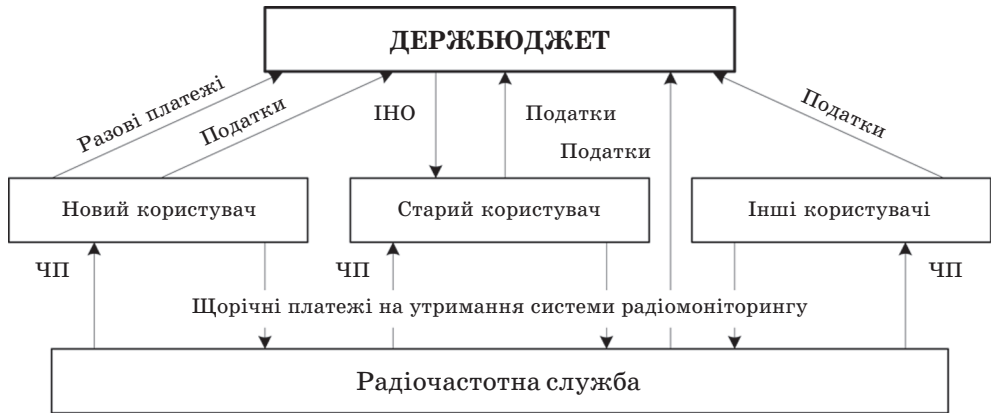


Рис. 10.2. Структура фінансово-економічної взаємодії учасників проекту конверсії РЧС (ІНО — інсталяція нового обладнання)

Функції учасників проекту конверсії

Держава:

- надає РЧР старому і новому користувачам;
- інвестує кошти з метою закупівлі та інсталяції нового обладнання для старого користувача;
- із часом повертає вкладені кошти за рахунок разових платежів оподаткування нового користувача.

Старий користувач:

- отримує нові частотоприсвоєння (ЧП);
- отримує нове обладнання, яке постачається за бюджетні кошти;
- далі здійснює свою діяльність у новому діапазоні частот.

Новий користувач:

- отримує вивільнені старим користувачем дефіцитні смуги частот;
- сплачує разові та регулярні платежі за користування РЧР;
- сплачує податки державі з бізнесу.

Радіочастотна служба:

- відшкодовує свої витрати за рахунок регулярних платежів за РЧР;
- виконує роботи з ЧП для старого та нового користувачів;
- купує за бюджетні кошти нове обладнання для старого користувача;
- бере участь у роботах із переведення РЕЗ старого користувача в інший діапазон частот.

Неодмінна умова вдалої реалізації проекту конверсії полягає в тому, щоб обсяг оборотних коштів, які мають залишитися на рахунках радіочастотної служби до початку наступного періоду планування, перевищував накопичене сальдо всіх фінансових потоків на певний момент часу.

У загальному випадку економічна ефективність і строк окупності проекту конверсії істотно залежить від *чистої поточної його вартості* — співвідношення між чистим (абсолютним) вигрешем держави-інвестора від вкладення бюджетних коштів у проект конверсії і альтернативною можливістю використання зазначених коштів, яка характеризується ставкою дисконтування. При цьому обсяг інвестицій включає в себе як основні (вартість нового обладнання та його інсталяції для старого користувача), так і оборотні кошти радіочастотної служби.

Графік, що характеризує динаміку зміни чистої поточної вартості проекту конверсії, наведено на рис. 10.3 [143].

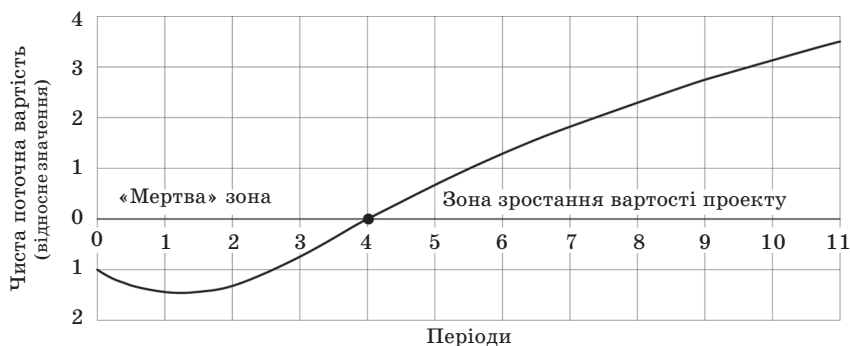


Рис. 10.3. Типовий графік динаміки зміни чистої поточної вартості проекту конверсії

Для визнання проекту конверсії ефективним із погляду держави-інвестора необхідно, щоб чиста поточна вартість була додатною наприкінці обраного горизонту планування, причому зазначений горизонт може бути яким завгодно, наприклад дорівнювати строку державної програми конверсії. Головне — знати строк окупності проекту як терміну (номера періоду на графіку рис. 10.3), протягом якого чиста поточна вартість дорівнюватиме нулю (на графіку рис. 10.3 — четвертий період).

У процесі реалізації державної програми конверсії спектра слід відстежувати її ефективність, показниками якої можуть бути:

- динаміка зростання частки РЧС цивільного призначення;
- щорічний приріст податкових доходів держави за рахунок конверсії;
- щорічний приріст податкових доходів держави за рахунок переведення РЕЗ цивільного призначення в інші діапазони (смуги) частот;
- сумарна чиста поточна вартість проектів конверсії та переведення РЕЗ в інші діапазони частот.

Принагідно зазначимо, що, на думку російських експертів, річний прибуток лише операторських компаній стільникового зв'язку в РФ обчислюється десятками мільйонів рублів. При цьому завдяки освоєнню нових діапазонів частот можна подвоїти доходи компаній і, відповідно, податкові надходження до державного бюджету. Водночас, незважаючи на недостатньо (як стверджують ті самі експерти) розвинений у РФ безпроводовий доступ, доходи відповідних операторських компаній досягають 1–2 млрд руб. Тому за наявності РЧР упровадження сучасних систем широкосмугового радіодоступу в Росії (з урахуванням вищих темпів розвитку мереж безпроводового доступу порівняно з темпами розвитку рухомого зв'язку) дасть змогу вже за кілька років *на порядок* збільшити доходи компаній. Сукупні доходи всіх радіомовних компаній нині також оцінюються десятками мільярдів рублів. У разі вивільнення РЧС унаслідок конверсії доходи істотно зростуть і можуть становити від 200 до 300 млрд руб.

Проаналізувавши структуру розподілу смуг радіочастот у РФ, наприклад у 2008 році, побачимо, що 95% спектра перебувало тоді в розпорядженні урядових та силових структур і лише 5% — у цивільному, зокрема комерційному, користуванні. Отже, нинішній дефіцит спектра є прямим наслідком зазначеної диспропорції в його розподілі.

Саме тому вже в 2015 році, коли буде завершено основні заходи з конверсії, а вільний спектр освоєно перспективними радіотехнологіями й системами цивільного призначення, відповідний економічний ефект може досягти 500 млрд руб. [153].

Тим часом протягом 1991–2003 років у РФ було виконано великі роботи з реалізації програм, спрямованих на вивільнення РЧС для розвитку мереж рухомого стільникового радіозв'язку й мереж абонентського доступу. Це, зокрема, такі програми:

- Комплексна цільова програма конверсії у сфері використання радіочастотного спектра службами РФ (1991–1996 рр.);
- Програма «Спектр-2000» (1996–2000 рр.);
- Програма «Спектр-2003» (2001–2003 рр.).

Виконання цих робіт дозволило впровадити в РФ кілька новітніх європейських радіотехнологій рухомого радіозв'язку й абонентського радіодоступу (GSM, DECT, MVDS і т. ін.).

На думку деяких експертів, проведення цих робіт ще не створює передумов для належної гармонізації Таблиці розподілу смуг частот РФ з європейською. Адже в РФ ще й досі не розроблено програми, яка має забезпечити вивільнення РЧС у задані терміни для тих перспективних радіотехнологій, інтенсивне впровадження яких вже розпочалося в багатьох країнах світу.

Дослідження щодо реалізації проекту конверсії в РФ показали: конверсія РЧС необхідна для розвитку цифрового телебачення (ЦТВ), систем безпроводового доступу (СБД), систем рухомого зв'язку (СРЗ), технології VSAT, супутникового безпосереднього звукового мовлення (СБЗМ).

Сукупні доходи від радіомовних компаній оцінюються мільярдами рублів. За деякими прогнозами, лише за рахунок упровадження окремих радіотехнологій сукупні доходи компаній можуть перевищити 200 млрд руб.

Економічну програму конверсії РЧС на 2007–2012 роки в РФ наведено в табл. 10.3.

Таблиця 10.3

Передбачувані витрати на конверсію в РФ, млн руб.

Технологія	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ЦТВ	4000	4000	4500	5000	7000	8000
СРЗ	23000	28000	31000	32000	29000	27000
СБД	50	150	300	500	800	900
VSAT	5	7	12	32	35	45
ТЕТРА	Основний ефект від упровадження ТЕТРА: удосконалення систем зв'язку з метою державного управління та управління виробництвом. Широке комерційне використання технології не передбачається					
СБЗМ	Комерційний ефект від такого мовлення важко досягається. Найбільш очевидним є соціальний ефект, пов'язаний із наданням послуг, які не можуть бути надані наземним сегментом (покриття всієї території країни більшою кількістю програм радіомовлення та скорочення «цифрового відриву»)					
	27055*	3215*	35812*	37532*	36835*	35945*
	7636**	10253**	12339**	19993**	21121**	20015**

* Загальний ефект від упровадження технологій, млн руб.

** Різниця між ефектом від упровадження технології та витратами на конверсію, млн руб.

10.6. Економіка радіомоніторингу

10.6.1. Загальні підходи

Реальним результатом функціонування СРЧМ може бути кількість проконтрольованих РЕЗ, смуг частот, виявлених ДРВ та передавачів, що діють незаконно (ПДН). Проте за цими показниками важко оцінити, наскільки ефективним протягом певного періоду було використання фонду робочого часу та основних виробничих і матеріально-технічних засобів, за рахунок яких і було отримано відповідний результат.

Для оцінювання економічної ефективності функціонування СРЧМ доцільно використовувати показники типу E_m/B або B/E_m , де E_m — технічний ефект; B — економічні витрати того чи іншого виду.

До таких показників можна віднести:

1) Рентабельність;

2) обсяг виконаної роботи, що припадає на 1 грн. вартості:

- основних виробничих засобів СРЧМ;
- застосованих матеріально-технічних засобів;
- річних зведених витрат;

3) експлуатаційні витрати, які припадають на виконання робіт із контролю параметрів випромінювання одного РЕЗ (однієї смуги частот), виявлення одного ДРВ або ПДН.

При виборі показника економічної ефективності функціонування СРЧМ слід ураховувати:

1) можливість використання одного й того самого типу системи як для розв'язання різних завдань РК, так і для контролю випромінювань РЕЗ різних радіотехнологій (за умови, що СРМ здатна розв'язувати ці завдання за своїми технічними характеристиками — частотним діапазоном, чутливістю РПП, швидкодією тощо);

2) витрати на оснащення СРМ потрібним комплектом інформаційних технологій — обчислювальних і програмних засобів (комп'ютерів, пакетів програм базового і спеціального програмного забезпечення (СПЗ), засобів доступу до баз даних, що зберігаються на сервері пункту управління та ін.), необхідних для автоматизації процесів збору, зберігання, оброблення, аналізу та відображення даних радіомоніторингу;

3) можливість використання СРМ у півтори, дві чи три зміни;

4) ту обставину, що певна частина СРМ у плановому (звітному) році буде несправна, перебуватиме на стадії планового ремонту або технічного обслуговування (ТО).

У загальному виді рентабельність комплексно відображає ступінь ефективності використання матеріальних, трудових і фінансових ресурсів (рівень віддачі від витрат і ступінь використання засобів). Кількісною оцінкою рентабельності може служити коефіцієнт рентабельності R , який розраховується як відношення прибутку до оподатковування $\Pi_{\text{д.о.}}$ до величини загальних витрат $B_{\text{реал.}}$, що може виражатися як у прибутку на одиницю вкладених коштів, так і в прибутку, що несе в собі кожна отримана грошова одиниця:

$$E_{\text{МТЗ}}(t) = \frac{Q_z(t)}{B_{\text{МТЗ}}(t)}. \quad (10.23)$$

Що стосується радіомоніторингу, загальні витрати $B_{\text{реал.}}$ складаються із амортизаційних відрахувань АМ та безпосередніх витрат $B_{\text{безпос.}}$ на організацію та виконання робіт з радіомоніторингу.

У зв'язку з можливими змінами тарифів на виконання відповідних робіт, а також використанням методики оцінювання показників ефективності виконання робіт розраховуючи на інтервал часу, ці показники доцільно також оцінювати, розраховуючи на одиницю часу (наприклад, рік):

$$B_{\text{реал.рік}} = AM_{\text{рік}} + B_{\text{безпос.рік}} \quad (10.24)$$

Питомий рівень амортизаційних відрахувань $AM_{\text{рік}}$ за рік розраховується за формулою

$$AM_{\text{рік}} = (CT_{\text{СРМ}} + CE_{\text{роб.}}) / n, \quad (10.25)$$

де $CT_{\text{роб.}}$ — вартість матеріальних засобів і робіт, спрямованих на підтримання засобів радіомоніторингу в працездатному стані, включаючи роботи з їх модернізації, ремонту та ін.;

$CT_{\text{СРМ}}$ — первісна (закупівельна) вартість;

n — строк амортизації засобів радіомоніторингу.

У свою чергу безпосередні витрати $B_{\text{безпос.}}$ складаються із:

— витрат на експлуатацію обладнання $B_{\text{експ.}}$ (на оренду приміщень, площадок для розгортання антенних систем, електроенергію і канали передавання даних для стаціонарних РКП, амортизацію транспортних засобів та і витрати на паливо — для МСРМ, та ін.);

— заробітної плати операторів радіоконтролю, водіїв МСРМ та решти обслуговуючого персоналу $B_{\text{З.П.}}$.

Величина $B_{\text{безпос.рік}}$ розраховується за формулою:

$$B_{\text{безпос.рік}} = (B_{\text{експ.}} + B_{\text{З.П.}}) / n. \quad (10.26)$$

Однак, якщо величину реального прибутку можна оцінити хоча б орієнтовно, то «прихований» прибуток, як прибуток від виконання робіт з моніторингу спектра в інтересах виявлення «вільних» або неефективно використовуваних смуг частот і наступного їхнього перерозподілу, оцінити дуже важко й, на практиці, практично неможливо.

З урахуванням викладеного вище, величину прибутку Пд.н. можна визначити як:

$$П_{\text{д.о}} = П_{\text{РК}} + П_{\text{моніт.}}, \quad (10.27)$$

де $П_{\text{РК}}$ — прибуток від виконання робіт з радіоконтролю; $П_{\text{моніт.}}$ — прибуток від виконання робіт з моніторингу спектра.

Зауважимо, що вибір показників економічної ефективності функціонування СРЧМ УДЦР має відбуватися з урахуванням усіх завдань РК, які має розв'язувати система та її елементи (станції РК, пункт управління та його обладнання, засоби зв'язку, капітальні споруди тощо). При цьому той факт, що частину СРМ доведеться спрямовувати на розв'язання завдань із виявлення джерел ненавмисних завад і ПДН, можна врахувати введенням відповідних коефіцієнтів стосовно того чи іншого типу СРМ.

Нехай для кожного λ -го підрозділу служби радіомоніторингу відомі (задані) такі характеристики:

$M_{\text{СРМ}k}$ — кількість СРМ k -го типу, $k = 1, 2, \dots, K_{\text{СРМ}}$, що перебувають в експлуатації в t -му році планованого (звітного) періоду;

$П_{\text{РЕЗ}ki}$, $П_{\text{СЧ}ki}$ — годинна продуктивність СРМ k -го типу при контролі РЕЗ і смуг частот i -ї радіотехнології;

$B_z(t)$ — річні зведені витрати на виконання z -го завдання в t -му році звітного періоду;

$C_{\text{СРМ}k}(t)$ — ціна (вартість) одного засобу радіоконтролю k -го типу до початку планованого (звітнього) періоду;

$N_{\text{ОП}k}(t)$ — нормативна чисельність обслуговувального персоналу (ОП) — операторів радіоконтролю, для СРМ k -го типу в t -му році звітнього періоду;

$Q_{zk}(t), Q(t)$ — річний обсяг роботи, виконуваний відповідно засобами радіоконтролю k -го типу при виконанні z -го завдання та системою радіомоніторингу в t -му році звітнього періоду.

Отже, для оцінювання економічної ефективності функціонування СРЧМ за певний період доцільно використовувати показник, що являє собою відношення обсягу виконаних робіт за цей період (у натуральному виразі) до зведених витрат на експлуатацію та утримання системи:

$$E = \frac{Q}{C_{\text{СРЧМ}} + E_{\text{н}} \Phi_{\text{СРЧМ}}}, \quad (10.28)$$

де Q — обсяг виконаних робіт за певний період; $\Phi_{\text{СРЧМ}}$ — обсяг капітальних вкладень на створення та вдосконалення СРЧМ, грн.; $C_{\text{СРЧМ}}$ — поточні (за розглядуваний період) витрати на експлуатацію і утримання системи, грн.; $E_{\text{н}}$ — нормативний коефіцієнт ефективності використання капітальних вкладень.

Під капітальними вкладеннями $\Phi_{\text{СРЧМ}}(t)$ розуміються витрати на створення та вдосконалення СРЧМ, які включають у себе вартість пункту управління АСРМ, стаціонарних і мобільних СРМ різного призначення, засобів (каналів) зв'язку, будівель (споруд, майданчиків, ангарів, гаражів), що використовуються для розгортання (розміщення, зберігання) засобів радіомоніторингу (радіоконтролю) та допоміжного обладнання.

Капітальні вкладення через нормативний коефіцієнт ефективності $E_{\text{н}}$ перераховуються в річні зведені витрати як частина ($E_{\text{н}} \cdot \Phi$) поточних річних капітальних витрат на експлуатацію та утримання СРЧМ (будівель, обладнання, постів і станцій радіоконтролю та інших елементів). Норматив $E_{\text{н}}$ обчислюється по-різному, залежно від застосовуваної методики, галузі, типу господарської діяльності підприємства та форми власності.

Поточні витрати $C_{\text{СРЧМ}}$ — це річні витрати на утримання та експлуатацію елементів системи. Ці витрати визначають собівартість річного утримання СРЧМ і включають у себе витрати на застосування елементів системи за призначенням, а також на підтримання їх у роботоздатному (справному) стані.

Для РПРМ λ -го підрозділу служби радіомоніторингу, який має у своєму складі пункт управління (ПУ), обладнаний необхідними засобами зв'язку і обчислювальної техніки, а також стаціонарні і мобільні СРМ, поточні витрати в t -му році будуть визначатися виразом:

$$C_{\text{СРЧМ}\lambda}(t) = \sum_{k=1}^{K_{\text{СРК}\lambda}(t)} C_{\text{СРМ}k\lambda}(t) M_{\text{СРМ}k\lambda}(t) + C_{\text{ПУ}\lambda}(t) + C_{\text{Зв}\lambda}(t) + C_{\text{Бд}\lambda}(t) + C_{\text{ОТ}\lambda}(t), \quad (10.29)$$

де $C_{\text{СРМ}k\lambda}(t)$ — витрати на експлуатацію та утримання (собівартість річного утримання) СРМ k -го типу в λ -му підрозділі служби радіомоніторингу в t -му році; $M_{\text{СРМ}k\lambda}(t)$ — кількість зазначених СРМ; $C_{\text{ПУ}\lambda}(t)$, $C_{\text{Зв}\lambda}(t)$, $C_{\text{Бд}\lambda}(t)$, $C_{\text{ОТ}\lambda}(t)$ — собівартість річного утримання відповідно ПУ РПРМ, засобів зв'язку, будівель (споруд), обчислювальної техніки в λ -му підрозділі служби радіомоніторингу в t -му році.

Що ж до номенклатури статей витрат УДЦР на утримання та експлуатацію елементів СРЧМ, то вона має визначатися згідно з додатком 1 до Методичних рекомендацій стосовно формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості, які було затверджено наказом Міністерства промислової політики України від 9 липня 2007 року № 373 [152].

Основні статті витрат на експлуатацію та утримання елементів СРЧМ такі:

а) для ПУ — заробітна плата обслуговувального персоналу, витрати на електроенергію та послуги житлово-комунального господарства (ЖКГ), інші витрати, пов'язані із забезпеченням функціонування ПУ;

б) для стаціонарних СРМ, розгорнутих на майданчиках, будівлях і/або спеціальних спорудах — заробітна плата обслуговувального персоналу, витрати на електроенергію та послуги ЖКГ;

в) для мобільних СРМ, установлених на автомобільних шасі (транспортних засобах), — заробітна плата обслуговувального персоналу, витрати на пально-мастильні матеріали (ПММ).

Витрати на ТО визначаються витратами на заробітну плату обслуговувального персоналу та вартістю запасних частин, приладів, приладдя і матеріалів (ЗМП), використовуваних під час виконання поточних ремонтів і ТО різних видів.

Із викладеного випливає, що річні зведені витрати на експлуатацію та утримання СРЧМ в t -му році можна подати таким виразом:

$$B_{\text{СРЧМ}}(t) = C_{\text{СРЧМ}}(t) + E_{\text{н}} \Phi_{\text{СРЧМ}}(t) = \sum_{k=1}^{\Theta_{\text{СРК}}(t)} B_{\text{СРК}k}(t) \Phi_{\text{СРК}k}(t) + \sum_{v=1}^{m_{\text{ПУ}}(t)} B_{\text{ПУ}v}(t) + \sum_{\Theta=1}^{n_{\text{Зв}}(t)} B_{\text{Зв}\Theta}(t) + \sum_{p=1}^{L_{\text{Бд}}(t)} B_{\text{Бд}p}(t) + \sum_{j=1}^{J_{\text{ОТ}}(t)} B_{\text{ОТ}j}(t). \quad (10.30)$$

При цьому річні зведені витрати на утримання та експлуатацію СРМ k -го типу можна подати у вигляді

$$B_{\text{СРМ}k}(t) = C_{\text{СРМ}k}(t) + E_{\text{СРМн}} \Phi_{\text{СРМ}k}(t), \quad (10.31)$$

де $C_{\text{СРМ}k}(t)$ — собівартість річного утримання СРМ k -го типу; $\Phi_{\text{СРМ}k}(t)$ — капітальні вкладення (ціна СРМ k -го типу в t -му році); $E_{\text{н}}$ — нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

Річні зведені витрати на v -й ПУ визначаються так:

$$B_{\text{ПУ}v}(t) = C_{\text{ПУ}v}(t) + E_{\text{ПУн}} \Phi_{\text{ПУ}v}(t), \quad (10.32)$$

де $C_{\text{ПУ}v}(t)$ — собівартість річного утримання v -го ПУ; $\Phi_{\text{ПУ}v}(t)$ — капітальні вкладення (ціна v -го ПУ); $E_{\text{ПУн}}$ — відповідний нормативний коефіцієнт; $m_{\text{ПУ}}(t)$ — кількість ПУ у складі СРЧМ в t -му році.

Річні зведені витрати на утримання та експлуатацію засобів зв'язку Θ -го типу визначається за такою формулою:

$$B_{\text{Зв}\Theta}(t) = C_{\text{Зв}\Theta}(t) + E_{\text{Звн}} \Phi_{\text{Зв}\Theta}(t), \quad (10.33)$$

де $C_{\text{Зв}\Theta}(t)$ — собівартість річного утримання засобів зв'язку Θ -го типу; $\Phi_{\text{Зв}\Theta}(t)$ — капітальні вкладення (ціна засобів зв'язку Θ -го типу); $E_{\text{Звн}}$ — відповідний нормативний коефіцієнт; $n_{\text{Зв}}(t)$ — кількість типів засобів зв'язку, що використовуються в системі РЧМ в t -му році.

Річні зведені витрати на утримання та експлуатацію будівель (споруд) визначаються такою рівністю:

$$B_{\text{Бд.р}}(t) = C_{\text{Бд.р}}(t) + E_{\text{Бд.н}} \Phi_{\text{Бд.р}}(t), \quad (10.34)$$

де зміст позначень той самий, що й у попередніх формулах.

Зокрема, річні зведені витрати на утримання p -ї будівлі (споруди) визначаються так:

$$B_{\text{Бдр}}(t) = C_{\text{Бдр}}(t) + E_{\text{Бд.н}} \Phi_{\text{Бдр}}.$$

Загальна кількість будівель (споруд) у складі СРЧМ в t -му році становить $L_{\text{Бд}}(t)$.

Використовуючи аналогічні позначення, дістаємо вираз для обчислення річних зведених витрат на утримання та експлуатацію ОТ j -го виду:

$$B_{\text{ОТ}j}(t) = C_{\text{ОТ}j}(t) + E_{\text{ОТн}} \Phi_{\text{ОТ}j}(t). \quad (10.35)$$

Загальна кількість засобів ОТ у складі СРЧМ у t -му році дорівнює $J_{\text{ОТ}}(t)$.

Отже, річні зведені витрати включають у себе не тільки витрати на утримання та експлуатацію СРЧМ і її елементів, а і кошти, необхідні для придбання нових СРМ, зведення нових будівель (споруд) тощо.

Згідно з викладеним підходом можна визначити, наприклад, такі показники ефективності функціонування СРЧМ, її філій і основних елементів:

- $N_{\text{РЕЗ}}(t)$ — кількість РЕЗ, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (λ -м підрозділом СРЧМ), що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію системи (підрозділу СРЧМ);

- $N_{\text{РЕЗст}}(t)$ — кількість РЕЗ, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію стаціонарної складової системи;

- $N_{\text{РЕЗмоб}}(t)$ — кількість РЕЗ, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію мобільної складової системи;

- $N_{\text{РЕЗ}i}(t)$ — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію системи;

- $N_{\text{РЕЗст}i}(t)$ — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію стаціонарної складової системи;

- $N_{\text{РЕЗмоб}i}(t)$ — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію мобільної складової системи;

- $N_{\text{РЕЗ СРМ}ki}(t)$ — кількість проконтрольованих РЕЗ i -ї радіотехнології у звітному періоді, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію СРМ k -го типу;

- $N_{\text{РЕЗ ПУ}i}(t)$ ($N_{\text{РЕЗ Зв}i}(t)$, $N_{\text{РЕЗ ОТ}i}(t)$) — кількість проконтрольованих РЕЗ i -ї радіотехнології у звітному періоді, що припадають на 1 грн. річних зведених витрат на утримання та експлуатацію ПУ (засобів зв'язку, ОТ, іншого обладнання).

Аналогічні показники можна розрахувати стосовно кількості $N_{\text{СЧ}}(t)$ проконтрольованих смуг частот загального користування, $N_{\text{ДРВ}}(t)$ або $N_{\text{ПДН}}(t)$ — кількості виявлених ДРВ або ПДН.

Наведені показники характеризують, по суті, фондівіддачу основних виробничих засобів СРЧМ.

На основі викладеного підходу можна визначити показник фондомісткості, який є оберненим до показника фондівіддачі і характеризує вартість

основних виробничих засобів СРЧМ, що припадає на виконання роботи з контролю одного РЕЗ, однієї смуги частот, виявлення одного ДРВ або одного ПДН. Динаміка показників фондівіддачі та фондомісткості за кілька років дає змогу з'ясувати, наскільки доцільними були капітальні вкладення в основні виробничі засоби СРЧМ стосовно зростання обсягу виконаної роботи (досягнутого технічного ефекту).

10.6.2. Розробка показника ефективності функціонування системи технічного радіоконтролю

У цьому підрозділі наведено розроблену методику розрахунку показника ефективності функціонування системи технічного радіоконтролю, що визначає співвідношення реально отриманих результатів її цільового застосування та відповідних матеріально-технічних витрат.

Застосовуючи показники фондівіддачі та фондомісткості, можна оцінити ефективність використання основних виробничих засобів і їхньої активної частини (стаціонарних постів і мобільних СРМ) при розв'язуванні різних завдань РК, покладених на СРЧМ. Проте ці показники не дають повного уявлення про ефективність використання матеріально-технічних засобів (МТЗ), необхідних для виконання завдань радіоконтролю, покладених на систему. Для об'єктивного оцінювання цього аспекта функціонування СРЧМ пропонується брати показник, який характеризує відношення річного обсягу виконаної роботи (за завданням РК) $Q_z(t)$ до $B_{\text{МТЗ}}(t)$ — витрат МТЗ, що їх доведенося зазнати системі для отримання досягнутого технічного ефекту:

$$E_{\text{МТЗ}}(t) = \frac{Q_z(t)}{B_{\text{МТЗ}}(t)}. \quad (10.36)$$

Залежно від завдань радіоконтролю цей показник характеризує кількість проконтрольованих РЕЗ, смуг частот, виявлених ДРВ або ПДН, що припадає на 1 грн. матеріально-технічних витрат.

Під матеріально-технічними витратами розуміються витрати, які прямо (безпосередньо) відносяться на собівартість робіт, виконуваних СРЧМ. До них належать витрати на матеріали, ПММ, ЗМП, послуги ЖКГ тощо.

Згідно з викладеним підходом можна визначити такі показники ефективності функціонування СРЧМ, підрозділів СРЧМ і основних елементів:

- $N_{\text{РЕЗ}}(t)$ — кількість РЕЗ, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. річних матеріально-технічних витрат системи (підрозділу СРЧМ);

- $N_{\text{РЕЗст}}(t)$ — кількість РЕЗ, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. річних матеріально-технічних витрат на утримання та експлуатацію стаціонарної складової системи (підрозділу СРЧМ);

- $N_{\text{РЕЗмоб}}(t)$ — кількість РЕЗ, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. річних матеріально-технічних витрат на утримання та експлуатацію мобільної складової системи (підрозділу СРЧМ);

- $N_{\text{РЕЗ}i}(t)$ — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. матеріально-технічних витрат на утримання та експлуатацію системи (підрозділу СРЧМ);

● $N_{\text{РЕЗст}i}(t)$ — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. матеріально-технічних витрат на утримання та експлуатацію стаціонарної складової системи (підрозділу СРЧМ);

● $N_{\text{РЕЗмоб}i}(t)$ — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. матеріально-технічних витрат на утримання та експлуатацію мобільної складової системи (підрозділу СРЧМ);

● $N_{\text{РЕЗ}k}(t)$ — кількість проконтрольованих у звітному періоді РЕЗ i -ї радіотехнології СРМ k -го типу, що припадає на 1 грн. матеріально-технічних витрат на утримання та експлуатацію СРМ цього типу;

● $N_{\text{РЕЗПУ}i}(t)$, ($N_{\text{РЕЗЗВ}i}(t)$, $N_{\text{РЕЗОТ}i}(t)$) — кількість РЕЗ i -ї радіотехнології, проконтрольованих у звітному періоді СРЧМ (підрозділом СРЧМ), що припадає на 1 грн. матеріально-технічних витрат на утримання і експлуатацію ПУ (засобів зв'язку, ОТ та іншого обладнання).

Аналогічні показники можна розрахувати стосовно кількості $N_{\text{СЧ}}(t)$ проконтрольованих смуг частот загального користування $N_{\text{ДРВ}}(t)$ або $N_{\text{ПДН}}(t)$ — кількості виявлених ДРВ або ПДН.

Динаміка цих показників за кілька років дозволить з'ясувати вплив матеріальних витрат на досягнення запланованих результатів, а також виявити чинники, що впливають на зміну (відхилення від планових показників) матеріальних витрат унаслідок зміни виду та обсягів робіт, виконуваних системою у звітному періоді.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛІВ 9 і 10

1. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» від 24.06.2004 р. № 1876-IV із змінами і доповненнями.
2. *Брагин А. С., Нарытник Т. Н.* Основы управления использованием радиочастотного ресурса / Под редакцией Т.Н. Нарытника. — К.: Основа, 2009. — 640 с.
3. *Справочник по радиоконтролю.* — Женева, МСЭ, 2010.
4. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под ред. д.т.н, проф. М. А. Быховского. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.: ил.
5. *Логинов Н. А.* Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации. — М.: Радио и связь, 2000. — 240 с.
6. *Конахович Г. Ф., Бабак В. П., Фисенко В. М.* Специальный радиомониторинг. — К.: «МК-Пресс», М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. — 384 с., ил.
7. *Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А.* Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А. М. Рембовского. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. — 492 с.: илл.
8. *Слободянюк П. В., Благодарный В. Г.* Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра (Теория и практика построения системы радиомониторинга) / Под общ. ред. Слободянюка П.В. — Прилуки: ООО «Издательство «Айр-Поліграф», 2010. — 296 с.: ил.
9. *Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А.* Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А. М. Рембовского. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия-Телеком, 2010. — 624 с.: илл.
10. *Слободянюк П. В., Благодарный В. Г., Ступак В. С.* Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П. В. Слободянюка. — Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. — 588 с.: ил.
11. *Благодарный В. Г., Ступак В. С.* Основні терміни в сфері користування радіочастотним ресурсом: Довідник-словник / Під ред. П. В. Слободянюка. — Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. — 336 с.
12. Регламент радиосвязи. Сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра. — М.: 2004.
13. «Положення про радіочастотний моніторинг у смугах радіочастот загального користування», затверджене Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку від 16.07.2009 р. № 1599, зареєстровано в Міністерстві Юстиції України 07.08.2009 р. за №741/16757.
14. «Порядок проведення приймальних випробувань радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв на місці експлуатації», затверджений Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку від 26.07.2007 р. № 854, зареєстровано в Міністерстві Юстиції України 10.08.2007 р. за № 930/14197.

15. Radiomonitoring and Radiolocation. Products and Solutions // Catalog 2000/2001, Rohde&Schwarz, Munich.

16. Spectrum Monitoring Handbook. Geneva, ITU, 2010.

17. *Куньч З. Й.* Універсальний словник української мови.— Тернополь: Навчальна книга.— Богдан, 2005.— 848 с.

18. Большой толковый словарь русского языка / Сост. и гл. ред. С. А. Кузнецов.— СПб.: Форионт, 2000.— 1536 с.

19. *Харченко Й. П.* 13 лекцій по регулюванню і моніторингу використання радіочастотного ресурса.— СПб.: Линк, 2008.— 210 с.: ил.

20. FM22(09)76. SFH 2008 Monitoring Campaign Information.

21. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28.06.1996 р.

22. Закон України «Про телекомунікації» від 18.11.2004 р. № 1280-IV із змінами і доповненнями.

23. Статут Міжнародного союзу електрозв'язку, ратифікований Законом України № 116/94-ВР від 15.07.1994 р.

24. Конвенція Міжнародного союзу електрозв'язку, ратифікована Законом України № 116/94-ВР від 15.07.1994 р.

25. Положення про Національну комісію з питань регулювання зв'язку України. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 25.07.2007 р. №971.

26. Закон України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» від 01.06.2000 р. № 1775-III 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. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17.02.2006 за № 145/12019.

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.

29. 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. Затверджені Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 07.12.2007 р. № 1018.

30. Порядок проведення конкурсів або тендерів на отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України. Затверджені Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 06.09.2007 р. № 911. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 03.10.2007 за № 1138/14405.

31. 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».

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

но Рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 03.11.2005 р. № 117.

33. 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.

34. Технічний регламент з підтвердження відповідності електромагнітної сумісності. Затверджено Наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 31.12.2003 р. № 283. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 07.05.2004 за №578/9177.

35. Перелік стандартів і норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби, що можуть застосовуватися в Україні. Затверджено наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 23.08.2007 р. № 754.

36. 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.

37. План використання радіочастотного ресурсу України. Затверджено 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.

38. Закон України «Про звернення громадян» від 02.10.1996 р. № 393/96-ВР із змінами і доповненнями.

39. Закон України «Про Митний тариф України» від 05.04.2001 р. № 2371-III із змінами і доповненнями.

40. Кодекс України про адміністративні правопорушення, прийнятий 07.12.1984 р. № 8073-X (із змінами і доповненнями).

41. Положення про Державну інспекцію зв'язку. Затверджене рішенням Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 02.08.2007 р. № 875. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21.08.2007 р. за № 964/14231.

42. Рішення Національної комісії з питань регулювання зв'язку України від 29.07.2005 р. № 34 «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. Методика інструментального оцінювання (вимірювання) напруженості електромагнітного поля випромінювання засобами радіочастотного контролю (Введена в дію наказом УДЦР від 22.01.2007 р. № 12).

45. Методика інструментального оцінювання (вимірювання) девіації частоти електромагнітних випромінювань радіоелектронних засобів радіомовної служби засобами радіочастотного контролю (Введена в дію наказом УДЦР від 22.01.2007 р. № 12).

46. Методичні рекомендації щодо проведення інструментального оцінювання (вимірювання) напруженості електромагнітного поля випромінювань базових станцій в прикордонних зонах (Введена в дію наказом УДЦР від 28.01.2008 р. № 15).

47. Інструментальне оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання. Методика М-3.4.3/01-10 (Введена в дію наказом УДЦР від 31.04.2010р. № 239).

48. Інструментальне оцінювання (вимірювання) ширини смуги частот радіовипромінювання. Методика М-3.4.3/02-10 (Введена в дію наказом УДЦР від 31.04.2010 р. №239).

49. Інструментальне оцінювання (вимірювання) зайнятості радіочастотних каналів. Методика М-3.4.3/03-10 (Введена в дію наказом УДЦР від 31.04.2010 р. №239).

50. Інструментальна оцінка частоти та ширини смуги частот радіовипромінювання з використанням аналізатора спектра ADVANTEST U3772 (в діапазоні частот від 3 ГГц до 43 ГГц). Методика М-3.4.3/04-10. (Введена в дію наказом УДЦР від 2.08.2010 р. №337).

51. Recommendation ITU R SM.1050-2 Tasks of a monitoring service.

52. Recommendation ITU-R SM.1392-1 Essential requirement for a spectrum monitoring station for developing countries.

53. Порядок виконання робіт з виявлення та усунення дії джерел радіозавад у смугах радіочастот загального користування. Затверджений Рішенням НКРЗ від 19.04.2007 р. №695. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 19.07.2007 за №829/14096.

54. Тарифи на роботи (послуги) Державного підприємства «Український державний центр радіочастот», пов'язані з користуванням радіочастотним ресурсом України та виділенням номерного ресурсу. Затверджений Рішенням НКРЗ від 11.12.2008 р. № 1256. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25.12.2008 за №1238/15929.

55. Рішення НКРЗ № 1813 від 24.12.2009 р. «Про погодження коефіцієнтів зниження рівня Тарифів на роботи (послуги) Державного підприємства «Український державний центр радіочастот», пов'язані з користуванням радіочастотним ресурсом України та виділенням номерного ресурсу.

56. Перелік радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, для експлуатації яких не потрібні дозволи на експлуатацію. Затверджений Рішенням НКРЗ від 06.09.2007 р. № 914. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20.11.2007 р. за № 1297/14564.

57. Порядок надання спеціальних дозволів на експлуатацію радіоелектронних засобів дипломатичними представництвами, консульськими установами іноземних держав, представництвами міжнародних організацій в Україні. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 11.07.2001 р. № 818.

58. Положення про надання дозволів на ввезення з-за кордону в Україну радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв. Затверджено Рішенням НКРЗ від 05.02.2009 р. №1338. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17.03.2009 за №242/16258.

59. Перелік радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, для ввезення яких, у тому числі переміщення у міжнародних поштових відправленнях, міжнародних експрес-відправленнях, не потрібні дозволи. Затверджено Рішенням НКРЗ від 04.02.2010 р. №51. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.02.2010 за №162/17457.

60. Порядок реалізації в Україні радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв. Затверджено Рішенням НКРЗ від 05.02.2009 р. № 1339. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17.03.2009 за № 243/16259.

61. Порядок здійснення державного нагляду за користуванням радіочастотним ресурсом України в смугах радіочастот загального користування. Зат-

верджено Рішенням НКРЗ від 27.10.2007 р. №4 27. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.11.2006 за № 1204/13078.

62. Інструкція про порядок взаємодії Державної інспекції зв'язку, Українського державного центру радіочастот та органів внутрішніх справ України з питань запобігання, виявлення та припинення порушень законодавства в галузі зв'язку. Затверджено Рішенням НКРЗ від 10.06.2008 р. № 1065. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10.07.2008 за № 2630/15321.

63. Постанова Кабінету Міністрів України від 21.12.2008 р. № 1150 «Про затвердження розміру щомісячного збору за користування радіочастотним ресурсом України».

64. Ліцензійні умови користування радіочастотним ресурсом України. Затверджено Рішенням НКРЗ від 19.08.2005 р. № 53. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20.10.2005 за № 1237/11517.

65. Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 29.07.2009 р. № 785.

66. *Волкова Ю. В.* Недостающее звено // Сети. — 2000. — № 7. — с. 24-31.

67. *Харченко И. П.* Найдено ли «недостающее звено» в системе регулирования радиочастотного ресурса. «Электросвязь». — 2009. — № 7.

68. Capture of Spectrum Utilization Information Using Moving Vehicles / Ofcom Tender No: 32/2008. — Final Report.

69. Звіт по НДР «Обґрунтування критеріїв, показників та розробка методів моніторингу якості надання послуг стільникового зв'язку в Україні» (Шифр «Якість»), Київ, 2007 р.

70. UMTS Coverage Measurements. Doc. FM 22(06)57, Вена, 19–22 септемб-
ря 2006 г.

71. Проект нормативного документу «Норми на показники якості послуг зв'язку, що надаються мережами стільникового рухомого зв'язку, та методики проведення оціночних випробувань по дослідженню показників якості», звіт по НДР (шифр «Якість»), Київ, 2007 р.

72. Recommendation ITU-R SM.443-5. Bandwidth measurement at monitoring stations.

73. *Благодарный В. Г., Букало І. М., Долматов С. О., Ступак В. С.* До питання термінології у сфері радіочастотного моніторингу // Зв'язок. — 2005. — № 3.

74. *Ступак В. С., Долматов С. О.* Основи радіочастотного контролю: Практичний посібник / За редакцією д.т.н. Олійника В.Ф. Київ, 2004. — 231 с.: іл.

75. Recommendation ITU-R PN.525-2 Calculation of free-space attenuation.

76. ETSI EN 300 910 Digital cellular telecommunication system. Radio transmission and reception (GSM 05.05 version 8.5.1 Release 1999).

77. ANSI/TIA/EIA-97-D-2001 TIA/EIA Standard. Recommended Minimum Performance Standards for Base Stations Supporting Dual Mode Spread Spectrum Systems.

78. Recommendation ITU-R M.1457-3. Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).

79. Monitoring methodology to assess the performance of GSM networks. ECC Report 118, Athens, February 2008.

80. Recommendation ITU-R SM.182-5 Automatic monitoring of occupancy of the radio-frequency spectrum.

81. 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..

82. Recommendation ITU-R SM.1447 Monitoring of the Radio Coverage of Land Mobile Networks to Verify Compliance with a Given Licence.

83. Recommendation ITU-R SM.1536 Frequency channel occupancy measurements.

84. Recommendation ITU-R SM.1793 Measuring frequency channel occupancy using the technique used for frequency band measurement.

85. Recommendation CEPT/ERC 01-10 E (Naples 2000) Frequency channel occupancy measurements.

86. ГОСТ 30338-95 СТСЭ. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерений и контроля.

87. Recommendation ITU-R SM.1045 Frequency tolerance of transmitters.

88. 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.

89. 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.

90. 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.

91. 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.

92. 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).

93. IEEE Std 802.16 (2004) IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.

94. ГОСТ 13924-80 Передатчики радиовещательные стационарные. Основные параметры, технические требования и методы измерений.

95. ГОСТ 30318-95 Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля.

96. Нормы 19-86 Общесоюзные нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения. ГКРЧ СССР.

97. Recommendation ITU-R SM.853-1 Necessary bandwidth.

98. Recommendation ITU-R SM.1138 Determination of necessary band-widths including examples for their calculation and associated examples for the designation of emissions.

99. Звіт МККР № 836-2. Визначення необхідної смуги частот.
100. ДСТУ 3254-95 Радіозв'язок. Терміни та визначення.
101. Recommendation ITU-R SM.328-10 Spectra and bandwidth of emission.
102. Recommendation ITU-R SM.329-10 Unwanted emissions in the spurious domain.
103. 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.
104. Нормы 18-85 Общесоюзные нормы на побочные излучения радиопередающих устройств гражданского назначения. ГКРЧ СССР
105. Recommendation СЕРТ/ERC/REC 74-01 Побочные излучения.
106. ДСТУ 4184-2003 Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання.
107. *Раушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р.* Основы спектрального анализа: Пер. с англ. С.М. Смольского / Под ред. Ю. А. Гребенко.— М.: Горячая линия-Телеком, 2006.— 224 с.: ил.
108. *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.
109. Recommendation ITU-R SM.377 Accuracy of frequency measurements at stations for international monitoring.
110. Recommendation ITU-R SM.378-6 Field-strength measurement at monitoring stations.
111. CCIR. Report 715-2. Propagation by diffraction.— Recommendation and reports, XVII Plenary assembly, Dusseldorf, 1990.
112. Recommendation ITU-R P.1546-2 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz.
113. Recommendation ITU-R P.845-3 HF field-strength measurement.
114. Звіт ITU-R BS.516 Результиуюча напруженість поля від декількох електромагнітних полів.
115. Recommendation ITU-R P.372-8 Radio noise.
116. Recommendation ITU-R P.529-3 Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.
117. Закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність».
118. *Егоров Е. И., Павлюк А. П.* Новый этап в нормировании и контроле ширины полосы частот и внеполосных излучений радиопередатчиков // Электросвязь.— 2003.— № 3.
119. Recommendation ITU-R SM.1537 Automation and integration of spectrum monitoring systems with automated spectrum management.
120. ИРКОС. Технические средства радиоконтроля. Каталог. М.: 2006.
121. Recommendation ITU-R SM.1723-1 Automated mobile spectrum monitoring unit.
122. Руководящий документ РД 45.193-2001 Оборудование станций радиоконтроля. Общие технические требования.— М.: ЦНТИ «Информсвязь», 2001.
123. Recommendation ITU-R SM.575 Protection of fixed monitoring stations against radiofrequency interference.
124. Recommendation ITU-R P.341-5 The concept of transmission lost for radio link.

125. Agreement between the Europe telecommunication authorities of the coordination of frequencies between the 29,7 MHz - 43,5 GHz for fixed services and land mobile services. Vienna, June 30th, 2000.

126. *Иванов В. А.* Электромагнитная совместимость РЭС / В. А. Иванов, Л. Я. Ильницкий, М. И. Фузик. К.: Техніка, 1983. — 120 с.

127. *Князев А. Д.* Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. — М.:— Радио и связь, 1984.

128. *Borneman W.* Aerial Installation of Naval Ship. Summary of the paper presented of Antenna Conference, Karlskrona. — 1981.

129. Український державний центр радіочастот. Історія та сучасність // Під заг. ред. Слободянюка П. В. К.: 2009. — 176 с., іл.

130. Recommendation ITU-R SM.1139 International monitoring system.

131. Справочник МСЭ по управлению использованием спектра на национальном уровне. Бюро радиосвязи МСЭ, Женева, 1995 г. — 143 с.

132. Резолюция ITU-R 23-1 «Расширение системы международного радиоконтроля до всемирного масштаба».

133. List of international monitoring stations. 11th edition. — Geneva: March 2009.

134. FM22(09)50 rev1. Questionnaire and Results on Radio Monitoring Services.

135. *Mitola, J., III Maguire, G. Q., Jr.* Cognitive radio: making software radios more personal // Research Institute of Technologies, Stockholm.

136. *Авдонин Д. В., Рындык А. Г.* Интеллектуальные радиосистемы: когнитивное радио // Broadcasting. Network, 2006, № 1 (8): 6.1.

137. *Тихвинский В. О.* MWC-2010: LTE шагает по планете // Мобильные телекоммуникации. — 2010. — № 1.

138. *Слободянюк П. В., Благодарный В. Г.* Радиочастотный мониторинг: сегодня и завтра // Зв'язок. — 2008. — № 5–6.

139. Методичні рекомендації щодо планування розвитку системи технічного радіоконтролю УДЦР.

140. Рекомендация СЕРТ ECC REC/(05)08 Frequency planning and frequency coordination for the GSM900, GSM1800, E-GSM and GSM-R land mobile systems.

141. *Слободянюк П. В., Благодарный В. Г.* Современные тенденции развития радиочастотного мониторинга // Зв'язок. — 2006. — № 6.

142. Звіт за НДР «Методологічні та технічні аспекти радіочастотного контролю нових технологій і систем зв'язку в діапазонах частот вище за 2000 МГц» (Шифр — «СВЧ-моніторинг»), Київ, 2007.

143. *Котов В. И.* Экономические аспекты управления радиочастотным ресурсом и эффективность его использования на национальном уровне / СПб.: Линк, 2009. — 268 с.

144. Report ITU-R SM.2012-2 Economic aspects of spectrum management.

145. *Фронтов В. В., Тихвинский В. О.* Регулирование телекоммуникаций в России и СНГ: Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. — 368 с., ил.

146. *Хохлачев Н. А.* Методика определения платы за использование РЧС операторами геостационарных спутниковых сетей // Электросвязь. — 2008. — № 1.

147. *Ноздрин В. В.* Методы определения платы за радиочастотный ресурс // *Электросвязь*. — 2002. — № 12.
148. *Ноздрин В. В.* Экономические методы управления использованием радиоспектра // *Электросвязь*. — 1994. — № 12.
149. *Заключний звіт за другим етапом НДР «Розробка показників оцінювання ефективності функціонування системи радиочастотного моніторингу» (Шифр «Ефективність») // К.* — 2010.
150. *Анпилогов В. Р.* Оплата радиочастотного спектра фиксированной спутниковой службы // *Технологии и средства связи*. — 2007. — № 6.
151. *Тихвинский В. О.* Методы расчета платы за использование радиочастотного спектра и их применение к сетям GSM // *Мобильные системы*. — 2001. — № 2.
152. *Методичні рекомендації по формуванню собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості. Затверджені наказом Міністерства промислової політики України від 9 липня 2007 року № 373.*
153. *Быховский М. А., Харитонов Н. И., Девяткин Е. Е.* Цели и задачи современного этапа конверсии РЧС в России // *«Электросвязь»*. — 2006. — № 1.
154. *Бутенко В. В., Веерпалу В. Э., Девяткин Е. Е., Харитонов Н. И.* Конверсия РЧС в России — один из основных путей повышения эффективности его использования // *«Электросвязь»*. — 2006. — № 1.
155. *Котов В. И.* Конверсия радиочастотного спектра с экономической точки зрения // *«Электросвязь»*. — 2008. — № 1.
156. *Девяткин Е. Е.* Плата за РЧС как важный фактор повышения эффективности его использования в России // *«Электросвязь»*. — 2006. — № 1.