

6.2 Розробка просторово-частотно-часового методу оцінювання ефективності ведення радіомоніторингу регіональними підсистемами

ВСТУП

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі оцінювання ефективності функціонування регіональних підсистем радіочастотного моніторингу (РП РЧМ) загальних користувачів з контролю використання радіотехнологіями і радіоелектронними засобами (РЕЗ) національного радіочастотного ресурсу (РЧР) шляхом розробки науково-методичного апарату з єдиною системою показників та критеріїв і програмно-алгоритмічного забезпечення для проведення автоматизованих розрахунків. Також в роботі обґрунтовані специфіка і показники оцінювання ефективності роботи різнотипних станцій радіоконтролю по комплексному виконанню основних завдань радіомоніторингу для оптимізації їх кількісного і якісного складу в РП РЧМ і проводиться аналіз отриманих результатів для розробки рекомендацій спрямованих на розвиток і модернізацію поточного стану РП РЧМ в цілому.

Проведено інформаційно-аналітичні дослідження за принципами побудови, структурою, функціями, важливістю завдань, технічним оснащенням і об'єктам радіомоніторингу національних систем радіочастотного моніторингу (СРЧМ) України та інших країн, на підставі яких сформульовано задачу оцінювання ефективності і процесу ведення радіомоніторингу підсистемами і засобами РЧМ.

Вперше створено науково-методичний апарат оцінювання техніко-виробничої (інтегральної) ефективності функціонування СРЧМ з радіомоніторингу реального використання РЧР, що включає вдосконалений системно-методологічний підхід, просторово-частотно-часовий метод охоплення радіочастотним моніторингом випромінювань РЕЗ, методику розрахунку з єдиною системою показників і критеріїв ефективності, процедури розрахунку і прогнозу показників ефективності на трьох рівнях ієрархії СРЧМ.

Для автоматизації процедур розрахунків інтегральних техніко-виробничих і часткових виробничих показників ефективності ведення радіочастотного моніторингу станціями радіоконтролю (СРК), РП РЧМ і СРЧМ в цілому, їх стаціонарною та мобільною складовими за заданий період часу і прогнозування їх на майбутні періоди розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення.

На основі вихідних даних за реальними характеристиками РП РЧМ і СРК, що визначаються розробленою методикою, проведені розрахунки зазначених вище показників ефективності для всіх РП РЧМ в Україні, аналіз яких дозволив виявити сильні і слабкі сторони ведення радіочастотного моніторингу кожною РП РЧМ з контролю функціонування кожної групи радіотехнологій та вирішення кожного завдання РЧМ. Отримані результати розрахунку дозволили розробити рекомендації щодо розвитку і вдосконалення СРК, РП РЧМ і національної СРЧМ загальних користувачів.

6.2.1 Обґрунтування методологічного підходу до оцінювання ефективності ведення радіомоніторингу регіональними підсистемами і засобами радіоконтролю

Відповідно до рекомендацій системного аналізу процес прийняття рішень необхідно починати з виявлення і чіткого формулювання кінцевої мети.

Мета функціонування системи визначає способи і форми дій, їх характер і системну упорядкованість, а також засоби досягнення і виступає як певний механізм інтеграції різних дій в систему «мета - засіб - результат». Мета функціонування СРЧМ тісно пов'язана з поняттями «радіочастотний моніторинг» і «система радіочастотного моніторингу», в зв'язку з чим виникла необхідність в уточненні даних понять.

За нашим визначенням [183] **радіочастотний моніторинг** - це комплекс узгоджених за задумом, завданням, місцем і часом організаційних і технічних заходів щодо збору, обробки, аналізу, узагальнення, зберігання та відображення даних про параметри сигналів і характеристики контрольованих РЕЗ для оцінки стану використання РЧР та підтримки прийняття управлінських рішень в сфері

його регулювання.

Дане визначення узагальнює відомі визначення поняття «радіочастотний моніторинг» з урахуванням його цільової та операційної спрямованості [184].

Під **системою радіочастотного моніторингу** будемо розуміти сукупність розподілених на місцевості стаціонарних та мобільних СРК, каналів зв'язку і пунктів управління, засобів збору, обробки, аналізу, узагальнення та зберігання даних про завантаженість смуг частот, параметрах сигналів і характеристиках випромінювань РЕЗ, розміщених в контрольованому районі.

З цих визначень і аналізу сутності завдань, покладених на СРЧМ [185,186, 187-196, 197-199], слідує, що головною метою її функціонування ($A_{СРЧМ}$) є оцінка стану використання РЧР для підтримки прийняття управлінських рішень в сфері його регулювання (планування, виділення, присвоєння, ЕМС, міжнародної координації).

Радіочастотний ресурс, який використовується РЕЗ різного призначення, характеризується не тільки смугою виділених частот, але і областю простору і інтервалом часу, в межах яких існують їх радіовипромінювання. Виходячи з цього, для оцінювання ефективності ведення радіомоніторингу СРЧМ за аналогією з заходом використання спектра, введеної в [200], доцільно ввести поняття міри ступеню охоплення виділеного РЧР системою радіомоніторингу у вигляді контрольованого просторово-частотно-часового континууму

$$V^k = S^k \cdot F^k \cdot T^k, \quad (1)$$

де S^k - контрольований простір, F^k - контрольований частотний діапазон, T^k - час контролю.

Міра (1) визначає суть **методологічного просторово-частотно-часового підходу** до оцінки ефективності функціонування СРЧМ і встановлює діалектичний зв'язок між виділеним для використання РЧР та ступенем його охоплення радіомоніторингом. У відповідності з цим підходом функція цілепокладання, що характеризує здатність СРЧМ вирішувати задачі і досягати

відповідної мети її функціонування, є функцією виділеного і контрольованого просторово-частотно-часового континуума:

$$\Phi(A_{CPЧМ}) = f(S, S^k, F, F^k, T, T^k). \quad (2)$$

При фіксованих значеннях виділеного S, F, T ця функція може бути представлена у вигляді:

$$\Phi(A_{CPЧМ}) = f(S^k, F^k, T^k). \quad (3)$$

Цілепокладання є найважливішою складовою частиною системного підходу. В об'єктивному сенсі під ціллю(метою) розуміється той стан, до якого прагне система, заради чого вона існує.

Ціллю системи є ієрархія простих позицій (підцілей). Тому декомпозиція головної цілі функціонування будь-якої національної СРЧМ на підцілі повинна базуватися на аналізі її структурно-ієрархічної побудови та основних задач, що вирішуються на відповідних рівнях ієрархії. Розглянуті в попередніх роботах [] загальні підходи і вимоги до побудови СРЧМ визначили, що для забезпечення вирішення задач радіочастотного моніторингу в країнах з територією в сотні тисяч квадратних кілометрів національні СРЧМ будуються за трирівневим ієрархічним принципом.

Залежно від розміру території держави СРЧМ можуть містити від двох до чотирьох ієрархічних рівнів. Для прикладу на малюнку.1 приведена адаптована з урахуванням вимог нормативних документів [201-205] узагальнена трирівнева організаційна структура СРЧМ, по якій побудована СРЧМ України.



Малюнок 1. Узагальнена організаційна структура системи
радіочастотного моніторингу

Центральний пункт управління забезпечує управління роботою РП РЧМ і контроль їх діяльності, а також узагальнення результатів радіомоніторингу всіх РП РЧМ. Проведення радіомоніторингу є виключно прерогативою РП РЧМ. Завданням технічної служби радіомоніторингу є підтримка і забезпечення вирішення нестандартних завдань радіомоніторингу.

Управління роботою всієї СРЧМ на вищому рівні здійснює спеціалізована організація, яка визначає завдання системи радіомоніторингу і забезпечує ресурси СРЧМ. В Україні такою спеціалізованою організацією є Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації.

Інформаційну основу СРЧМ складають стаціонарні СРК, які вирішують завдання радіомоніторингу в межах певного регіону (зони радіодоступності). Їм можуть бути підпорядковані додаткові СРК, зокрема: стаціонарні станції, які управляються дистанційно, а також мобільні СРК.

Згідно із загальним управління частотами і смуг радіочастот, який у всесвітньому масштабі визначається Міжнародної таблицею розподілу радіочастот [199], а в Україні - НТ РСЧ [200], діапазон радіочастот від 9 кГц до 40 ГГц в Україні розподілений між більш ніж 30 радіослужбами. Повний перелік радіотехнологій, що застосовуються в даний час в Україні, визначається ПВ РЧР та містить понад 50 найменувань [191] в складі яких функціонують близько 140

тис РЕЗ. Але не всі радіотехнології мають однакове поширення в Україні і підлягають РЧМ з боку держави. До найбільш поширених радіотехнологій можна віднести технології: КВ радіозв'язку; УКХ радіозв'язку; радіорелейного зв'язку; супутникового зв'язку; безпроводний радіодоступ; технології систем радіомовлення, які, в свою чергу, діляться на системи аналогового і цифрового звукового мовлення і системи аналогового і цифрового телевізійного мовлення.

Радіотехнології системи супутникового зв'язку включають в себе велике різноманіття окремих підсистем, зокрема, підсистеми радіонавігаційної, радіоаматорського, радіомовної служб, служби космічних досліджень Землі, служби космічної експлуатації, підсистеми супутникового зв'язку, фіксованого та рухомого супутникових служб і т.д. Найбільшою за кількістю систем і стандартів радіозв'язку є категорія систем бездротового доступу.

Зазначена кількість РЕЗ, навіть без урахування РЕЗ спеціального призначення, найбільш інтенсивно використовують діапазон частот від 30 МГц до 6 ГГц і створюють складну радіоелектронну обстановку в регіонах країни

Аналіз основних характеристик РЕЗ різних технологій свідчить про те, що для радіомоніторингу радіовипромінювань РЕЗ, які відносяться до однієї радіослужби, але використовують різні види модуляції, методи доступу до середовища передачі даних і різні види сигналів, необхідні різні методи виявлення радіовипромінювань і вимірювання їх параметрів. Отже, для уніфікації процедур РЧМ доцільно розділити РЕЗ різних радіотехнологій на певні групи, для кожної з яких допустимо використання однакових методів обробки радіовипромінюванні засобів технічного контролю. З цієї точки зору в роботі [183] всі діючі в Україні радіотехнології було запропоновано розділити на чотири групи:

$j = 1$ - традиційні радіотехнології (аналогове телевізійне та звукове мовлення, цифровий та аналоговий транкінговий радіозв'язок, радіозв'язок передачі даних, ультракороткохвильовий радіозв'язок, аналоговий короткохвильовий радіозв'язок. пейджинговий радіозв'язок, радіозв'язок берегових і суднових станцій, радіотелеметрія і радіодистанційне управління,

радіотелеметрія охоронних і пожежних систем, радіоподовжувачі абонентських телефонних ліній, всього $I_1 = 12$), які контролюються стаціонарними СРК, а поза зоною ЕМД стаціонарних СРК – мобільними СРК.

$j = 2$ - радіотехнології стільникового зв'язку (типу GSM-900-1800, E-GSM, R-GSM, CDMA-450-800, IMT-2000 (UMTS), D-AMPS, R-GSM (режим "frequency hopping"), DECT, всього $I_2 = 4$), для радіомоніторингу яких використовуються спеціалізовані багатофункціональні мобільні СРК з визначенням радіоканалів базових станцій.

$j = 3$ - радіотехнології широкосмугового, мультимедійного і мультисервісного радіодоступу ($I_3 = 3$), які контролюються спеціалізованими засобами ТРК, що транспортуються багатофункціональними мобільними СРК.

$j = 4$ - радіотехнології радіорелейного зв'язку, радіолокації і радіонавігації, супутникового радіозв'язку, телеметрії і телекерування супутникових мереж, багатоканального наземного телерадіомовлення, випромінювальні пристрої промислового, наукового, медичного та побутового призначення ($I_4 = 5$), які контролюються спеціалізованими вимірювальними лабораторіями або аналізаторами спектра і осцилографами загального призначення, а супутникового радіозв'язку - спеціалізованими станціями супутникового моніторингу.

Ведення радіомоніторингу зазначених груп радіотехнологій реалізується різними методами з застосуванням різних видів устаткування. Так, РЧМ радіоелектронних засобів широкосмугового радіодоступу, стільникового зв'язку та більшості наземних цифрових радіотехнологій (зокрема передавачів мультимедійного і мультисервісного радіодоступу) повинні проводитися із застосуванням спеціалізованих засобів радіоконтролю. РЧМ випромінювань передавачів аналогового і цифрового звукового і телевізійного мовлення, ультракороткохвильового (УКХ) і короткохвильового (КВ) радіозв'язку, зв'язку передачі даних має здійснюється переважно стаціонарними засобами в зонах їх радіодоступності і мобільними (рухомими) засобами (станціями) загального призначення поза зонами радіодоступності стаціонарних засобів. Мобільні

засоби повинні використовуватися також для уточнення результатів радіоконтролю і пошуку джерел радіовипромінювань в їх межах зон радіодоступності стаціонарних СРК. Для здійснення моніторингу випромінювань радіорелейних станцій в надвисокочастотному (СВЧ) діапазоні необхідні спеціалізовані мобільні вимірювальні лабораторії, а для моніторингу супутникових транспондерів і геолокації земних станцій супутникового зв'язку - спеціалізовані станції супутникового (космічного) моніторингу.

СРЧМ України загальних користувачів активно розвивалася протягом останніх 20 років і на сьогоднішній день є однією з найбільших в Європі [184]. Вона була побудована ДП «УДЦР» і за станом на 01.01.2014 р включала до свого складу майже 200 стаціонарних і понад 140 мобільних СРК, в тому числі 6 мобільних вимірювальних лабораторій, одну станцію супутникового радіомоніторингу і одну станцію радіоконтролю в КВ-діапазоні. При цьому всі стаціонарні СРК працюють в автоматизованому режимі, а їх функціональні і технічні можливості повністю відповідають вимогам Міжнародного союзу електрозв'язку до станцій радіоконтролю [197-199]. Деякі зразки мобільних СРК, спеціалізовані станції радіоконтролю типу ССТК і РМ-ШСД є унікальними. На вказаний період процесом радіомоніторингу були охоплені 107 населених пунктів із загальною кількістю населення 39 млн. чоловік і загальною кількістю близько 140 тис. РЕЗ [184, 203] з відсотком охоплення не менш 87% в діапазоні частот від 30 МГц до 6 ГГц і понад 75% в смугах частот від 6 ГГц до 40 ГГц. В умовах дефіциту вільного РЧР для забезпечення необхідних темпів розвитку сфери телекомунікацій існуючої СРЧМ проводиться постійний контроль використання національного РЧР [199], дотриманням користувачами РЧР порядку і правил його використання, виконанням умов наданих ліцензій і дозволів на експлуатацію РЕЗ, своєчасного виявлення і усунення дій радіоперешкод і незаконно діючих передавачів.

Місце, мета, завдання та сфера повноважень СРЧМ в Україні визначаються Законом України "Про радіочастотний ресурс України" [190].

Історично так склалося, що СРЧМ України складається з двох окремих

систем: СРЧМ в смугах радіочастот загального користування і СРЧМ в смугах радіочастот спеціального користування. При цьому обидві системи функціонують автономно і незалежно один від одного. Взаємодія між ними організовано на рівні надання іншій системі інформації за запитом. СРЧМ в смугах радіочастот спеціального користування складається з підсистем радіомоніторингу дванадцяти центральних органів виконавчої влади [190], які самостійно вирішують питання радіомоніторингу у відповідних смугах радіочастот: Міністерства Оборони, Служби безпеки України та Міністерства внутрішніх справ та ін.

Організаційно СРЧМ в смугах радіочастот загального користування складається з управління радіочастотного моніторингу (УРЧМ), як структурного підрозділу УДЦР та підрозділів радіоконтролю в 26 регіональних філіях УДЦР [191]. Структура взаємодії органів радіочастотного моніторингу у смугах радіочастот загального користування в Україні зображена на рис. 2 [204].

Система радіочастотного моніторингу УДЦР має ієрархічну структуру і включає в себе наступні елементи:

- пункт управління АСРМ в м.Києві;
- РП РЧМ в Києві;
- підрозділи радіоконтролю в 25 РП РЧМ УДЦР інших обласних центрів та м Севастополь;
- управління радіочастотного моніторингу УДЦР.

Технічну основу СРЧМ УДЦР становить автоматизована система радіомоніторингу (АСРМ) [204]. Управління РЧМ УДЦР забезпечує виконання завдань радіомоніторингу в Києві і надання допомоги регіональним філіям УДЦР в частині виконання спеціальних формалізованих задач радіомоніторингу та технічного радіоконтролю в регіонах, а також вирішення завдань з виявлення радіоперешкод.

Пункт управління АСРМ призначений для управління і координації робіт з РП РЧМ. Робота починається з планування завдань радіомоніторингу для РП РЧМ і згодом формування завдань для регіону в цілому і окремих віддалених

постів РКП [196-199]. Отримана за результатами радіомоніторингу інформація регіонального рівня збирається, обробляється, аналізується і зберігається на центральному ПУ в базі даних (БД), яка містить останні зміни з урахуванням частотних присвоєнь і РЕЗ в РП РЧМ.

На РП РЧМ покладено вирішення завдань радіомоніторингу в межах регіонів (областей). Узагальнена структура РП РЧМ, яка зараз реалізована в більшості регіональних філій ДП «УГЦР№» включає до свого складу:

- пункт управління РП РЧМ;
- стаціонарні СРК в обласному центрі;
- віддалені стаціонарні СРК в деяких містах регіону;
- мобільні СРК;

- канали зв'язку для забезпечення взаємодії між ПУ РПРЧМ і РКП. Пункт управління РП РЧМ оснащений АРМ управління РС-157Р і АРМ обліку частотних присвоєнь і результатів радіомоніторингу РС-135Р.

За своїми функціональними можливостями АРМ РС-135Р здатне забезпечувати:

- планування радіомоніторингу для окремих РКП в складі РП РЧМ;
- супровід, поповнення та збереження адміністративних і технічних даних про частотних присвоєнь і РЕЗ, які територіально розташованого в межах області;
- формування звітних документів за результатами радіомоніторингу;
- перевірку функціонування АРМ РС-157Р шляхом надання контрольних завдань;
- підготовку завдань з моніторингу (контролю) роботи окремих РКП;
- розрахунок зон покриття РЕЗ;

За своїми функціональними можливостями АРМ РС-157Р здатне забезпечувати:

- підготовку і видачу завдань на проведення радіомоніторингу для окремих СРК в складі РП РЧМ;
- підготовку і видачу завдань на проведення радіомоніторингу для

мобільних СРК;

- отримання інформації за результатами радіомоніторингу від окремих РКП і мобільних СРК;

- обробка результатів радіомоніторингу (в тому числі, узагальнення інформації від декількох СРК у випадках проведення синхронного пеленгування і визначення місцезнаходження радіовипромінюючих РЕЗ);

- перевірку функціонування каналів зв'язку з віддаленими СРК;

- накопичення і збереження результатів радіомоніторингу в БД радіо обстановки.

Під час обробки результатів радіомоніторингу, отриманих від окремих стаціонарних і мобільних СРК здійснюється поділ радіовипромінювань РЕЗ і ідентифікація РЕЗ. Це дозволяє виявляти і визначати місцезнаходження незаконно діючих передавачів, оцінювати завантаження діапазону частот і контролювати параметри сигналів в автоматичному режимі.

Для забезпечення вирішення завдань щодо визначення місцезнаходження РЕЗ стаціонарними засобами в обласних центрах розгорнуто мережу з декількох стаціонарних СРК оснащених багатофункціональними комплексами радіомоніторингу з функціями радіопеленгування. При цьому загальна обробка результатів пеленгування для розрахунків місцезнаходження РЕЗ виконується на пункті управління РП РЧМ. Багатофункціональні СРК типу РМ-2500р і АІК-С одночасно виконують також завдання щодо виявлення та технічного аналізу радіовипромінювань. Віддалені СРК в інших містах області виконують лише завдання виявлення радіовипромінювань і їх технічного аналізу.

Таким чином, в Україні створено структурно складна СРЧМ, яка вирішує великий спектр завдань, спрямованих на регулювання ефективного використання національного РЧР. Її можливості в значній мірі визначаються складом засобів радіомоніторингу, їх кількістю, функціональними і технічними можливостями, а також топологією. Однак, як зазначено в [206], найкращою була б така структура і склад СРЧМ, яка забезпечувала б охопленням кожного населеного пункту мінімум двома стаціонарними пеленгаторами, що є

недозволеною «розкішшю» через великі фінансові витрати. У зв'язку з цим виникає необхідність в оцінюванні техніко-виробничо-економічної ефективності процесу ведення радіомоніторингу СРЧМ і подальшої оптимізації її структури.

Кожна з регіональних підсистем вносить свій внесок в досягнення головної цілі функціонування всієї СРЧМ. Відповідно ціллю функціонування РП РЧМ ($A_{РПРЧМ}$) є збір, обробка, аналіз, узагальнення та збереження даних про параметри сигналів і характеристики випромінювань РЕЗ для оцінки і забезпечення ефективного використання РЧР в межах регіонального просторово-частотно-часового континууму. Одночасно кожна СРК вносить свій внесок в оцінку використання РЧР в певній просторово-частотно-часовій області (зоні дії).

В межах заданого просторово-частотно-часового континууму система, підсистеми та засоби вирішують цілком певні задачі, які можна розбити на дві групи [191, 207]. Перша група задач вирішується на всіх рівнях ієрархії національної СРЧМ. До них відносяться задачі збору, обробки, аналізу, узагальнення та зберігання інформації, необхідної для оцінки використання виділеного РЧР. Друга група задач вирішується на верхніх рівнях системи і включає підготовку даних, пропозицій і рекомендацій для прийняття рішень в сфері регулювання РЧР.

Перша група задач є вихідною по відношенню до другої групи і визначає підцілі функціонування СРЧМ на всіх ієрархічних рівнях. Аналіз цих задач дозволяє визначити основні підцілі функціонування національних СРЧМ на всіх рівнях їх ієрархії [184]. Смісловий зміст декомпозованих підцілей функціонування СРЧМ України, визначений на основі аналізу нормативних документів, що регламентують діяльність державних органів у сфері радіочастотного моніторингу, наведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Підділі функціонування СРЧМ

Підділі для рівня			Найменування підділі
СРЧМ	РП РЧМ	СРК	
$A_{СРЧМ\ 1}$	$A_{РПРЧМ\ 1}$	$A_{СРК\ 1}$	Контроль відповідності параметрів випромінювань зареєстрованих РЕЗ нормативним документам
$A_{СРЧМ\ 2}$	$A_{РПРЧМ\ 2}$	$A_{СРК\ 2}$	Контроль зайнятості смуг радіочастот
$A_{СРЧМ\ 3}$	$A_{РПРЧМ\ 3}$	$A_{СРК\ 3}$	Виявлення незаконно діючих передавачів
$A_{СРЧМ\ 4}$	$A_{РПРЧМ\ 4}$	$A_{СРК\ 4}$	Виявлення джерел радіозавад роботі РЕЗ

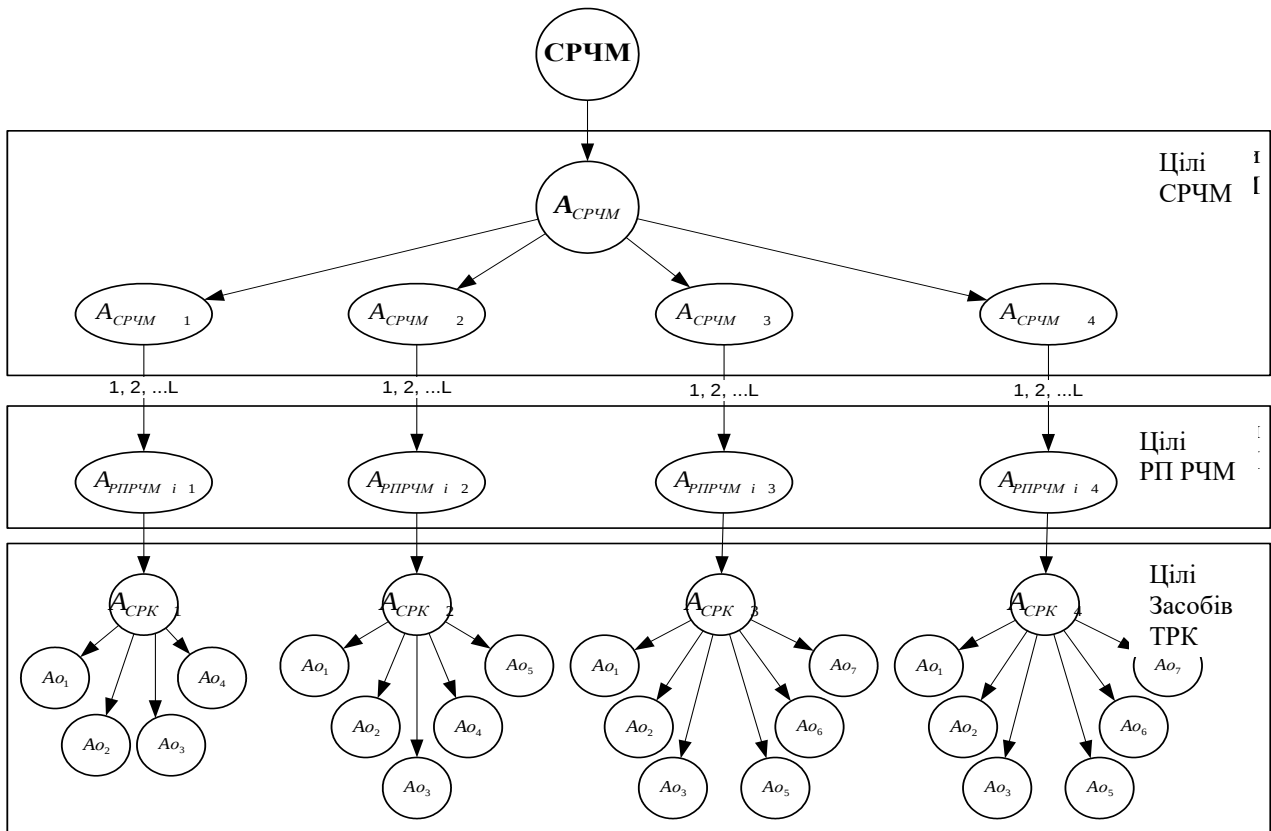
Для досягнення наведених підділей функціонування РП РЧМ і СРЧМ в цілому, СРК на своєму рівні ієрархії реалізують повністю або частково виконання елементарних операцій [184], які представлені в табл. 2.

Для досягнення поставленої цілі необхідна цілеспрямована діяльність СРЧМ, яка реалізується в процесі виконання операції. Під операцією в системному підході розуміється [204, 208-209] сукупність цілеспрямованих дій, об'єднаних загальним задумом і єдиною метою, що і включено в запропоноване вище визначення радіочастотного моніторингу. Операцією в даному випадку є процес ведення радіомоніторингу СРЧМ.

Таблиця 2. Операції, що виконуються СРЧМ

№ з.п.	Найменування операції	Умовне позначення
1.	Пошук і виявлення випромінювань РЕЗ за частотою і напрямком	Ao_1
2.	Інструментальне оцінювання параметрів випромінювань РЕЗ	Ao_2
3.	Ідентифікація радіовипромінювань РЕЗ	Ao_3
4.	Ідентифікація РЕЗ	Ao_4
5.	Спостереження за радіовипромінюванням	Ao_5
6.	Пеленгування РЕЗ	Ao_6
7.	Визначення місцезнаходження РЕЗ	Ao_7

Операція формується в рамках, які в якості основних компонентів містять орган управління операцією, підсистеми, активні засоби і об'єкти контролю (мал. 2).



Малюнок 2. Співвідношення між головною ціллю функціонування і декомпозованими підцілями на різних рівнях ієрархії СРЧМ

По відношенню до СРЧМ ціль операції $A_{СРЧМ}$ виступає основним системоутворюючим фактором, як спосіб інтеграції різних дій в єдину послідовність (принцип цілеобумовленості). Крім того, вона дозволяє встановити єдину метрику показників результату операції на рівнях органу управління операцією, підсистем, активних засобів і об'єктів контролю.

Ефективне проведення операції СРЧМ забезпечується сукупністю її загальносистемних, структурних і функціональних властивостей.

До загальносистемних властивостей СРЧМ належать цілісність, стійкість, спостережуваність, керованість, детермінованість, відкритість, динамічність та інші. До структурних властивостей включають склад, взаємозамінність, організацію, складність, масштабність, просторовий розмах, централізованість,

обсяг та інші.

Зупинимось докладніше на розгляді менш вивчених функціональних властивостей, які характеризують процес ведення радіомоніторингу. До функціональних (поведінкових) властивостей відносяться результативність, ресурсомісткість, оперативність, продуктивність, економічність, активність, потужність, швидкодія, точність та ін.. Властивості, що характеризують процес ведення радіомоніторингу СРЧМ для досягнення головної цілі операції, називаються операційними властивостями або властивостями операції [208, 209].

6.2.2 Розробка показників та критеріїв оцінювання ефективності функціонування регіональних підсистем

Якість результату операції і алгоритм, що забезпечує його отримання (стратегія), оцінюються функціональними показниками якості операції, основними з яких, на наш погляд, є:

- **результативність** Q , яка визначає отриманий цільовий ефект (результат) для досягнення якого функціонує система;
- **ресурсомісткість** C , що характеризує витрати (ресурси) всіх видів, що використовуються для отримання цільового ефекту;
- **оперативність** T_0 , яка визначає витрату часу реквізит для досягнення мети операції.

У сукупності результативність, ресурсомісткість і оперативність породжують комплексну властивість - ефективність R_{ef} процесу ведення радіомоніторингу СРЧМ - ступінь його пристосованості до досягнення цілі, а саме: оцінки стану використання РЧР. Комплексна властивість проявляється при веденні радіомоніторингу СРЧМ і залежить як від властивостей операції, так і від властивостей зовнішнього середовища.

Для кількісної оцінки результату операції стосовно СРЧМ введемо узагальнений показник результату операції у вигляді вектора $R_{ef} = \|R_Q, R_C, R_{T_0}\|$, компоненти якого суть показники окремих результатів, що відображають

результативність, ресурсомісткість і оперативність операції. Уявімо узагальнений показник результату операції у вигляді степеневої функції

$$R_{эф} = \zeta_0 \cdot Q^{\zeta_1} \cdot C^{\zeta_2} \cdot T_o^{\zeta_3}, \quad (4)$$

де $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ - показники ступеня.

Параметри функції показника результату $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ можуть набувати значень $0, \pm 1$. У табл. 3 наведені практичні варіанти використання узагальненого показника результату операції.

Таким чином, узагальнений показник результату операції в вигляді (4) дозволяє отримати для різних значень $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ як основні показники, так і найважливіші похідні показники по продуктивності і ефективності-вартості.

Таблиця 3. Показники ефективності СРЧМ

№ з. п.	Параметри функції операції	Вид показника	Найменування показника
1.	$\zeta_0 = \zeta_1 = 1; \zeta_2 = \zeta_3 = 0$	$R_Q = Q$	Корисний ефект
2.	$\zeta_0 = \zeta_2 = 1; \zeta_1 = \zeta_3 = 0$	$R_C = C$	Вартість операції
3.	$\zeta_0 = \zeta_3 = 1; \zeta_1 = \zeta_2 = 0$	$R_T = T_o$	Час на операцію
4.	$\zeta_0 = \zeta_1 = 1;$ $\zeta_2 = 0; \zeta_3 = -1$	$R_{II} = \frac{Q}{T_o}$	Продуктивність в операції
5.	$\zeta_0 = \zeta_1 = 1; \zeta_2 = -1; \zeta_3 = 0$	$R_E = \frac{Q}{C}$	Ефективність-вартість операції

Відповідальним моментом дослідження ефективності операції є вибір показників і критеріїв ефективності.

Показник ефективності операції $w[\Phi(A_{СРЧМ})]$ є міра ступеня відповідності реального результату операції необхідному або потенційному значенням.

Критерій ефективності - це правило, що дозволяє зіставити стратегії (алгоритми отримання результату), що характеризуються різним ступенем досягнення цілі, і здійснювати спрямований вибір стратегій з множини

допустимих.

Відповідно до введеного узагальненого показника результату операції (4) і його частковими значеннями (таблиця 3) для оцінювання ефективності функціонування СРЧМ можуть використовуватися різні групи показників, що характеризують ефективність технічної, економічної, оперативної, техніко-економічної та техніко-виробничої діяльності по досягненню головної цілі. При цьому необхідно сформулювати відповідні критерії, що визначають надійність вирішення покладених завдань, та економічний ефект від їх виконання.

Найбільш важливою і універсальною з точки зору запропонованого просторово-частотно-часового підходу є група техніко-виробничих показників і критеріїв ефективності, що дозволяє оцінити корисний результат функціонування національної СРЧМ.

Для практичного оцінювання цієї групи показників і критеріїв використовуємо **імовірнісний і детермінований** підходи.

При **імовірнісному підході** в якості загального показника ефективності функціонування СРЧМ на верхньому рівні використовується ймовірність досягнення цілі за рішенням усіх завдань РЧМ

$$P_{1Z} = P(Q_{<Z>} < > \Psi_{<Z>}) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \Omega_Q(Q_{<Z>}) d\Theta_\Psi(\Psi_{<Z>}), \quad (5)$$

де $\Omega_Q(Q_{<Z>}) \stackrel{d}{=} P(Q_{<Z>} < > Q_{<Z>}^*) = P(\bigcup_{z=1}^Z (Q_z < > Q_z^*))$ - інтегральний закон

розподілу випадкового вектора Q_z корисного результату операції з моніторингу заданого просторово-частотно-часового континууму;

$\Theta_\Psi(\Psi_{<Z>}) \stackrel{d}{=} P(\Psi_{<Z>} < > \Psi_{<Z>}^*) = P(\bigcup_{z=1}^Z (\Psi_{<Z>} < > \Psi_{<Z>}^*))$ - функція розподілу

випадкового вектора $\Psi_{<Z>}$ необхідних результатів з моніторингу заданого просторово-частотно-часового континууму.

Оскільки підцілі (табл. 1) є несумісними подіями і РП РЧМ незалежно

вирішують поставлені перед ними задачі радіомоніторингу, то узагальнений показник P_{1Z} ефективності функціонування СРЧМ в загальному випадку представляється у вигляді суперпозиції ймовірностей досягнення цілей регіональними підсистемами:

$$P_{1Z} = \bigcup_{z=1}^d \bigcup_{z=1}^Z \rho_z P_{1z} (Q_z < > \psi_z) = \bigcup_{l=1}^d \bigcup_{z=1}^L \bigcup_{z=1}^Z \rho_z P_{2lz} (Q_{lz} < > \Psi_{lz}), \quad (6)$$

де P_{1z} і P_{2lz} - ймовірності досягнення кожної z -ої підцілі на центральному та регіональному рівнях; l і L - номер і кількість РП РЧМ; ρ_z - вагові коефіцієнти, які визначаються централізовано методом експертної оцінки для кожної з підцілей, для яких має виконуватися умова $\sum_{z=1}^Z \rho_z = 1$.

При цьому критерії ефективності задаються частковими предикатами:

$$G_{1z} : P_{1z} \geq P_{1z}^{mp}; G_{1z} : P_{1z} \geq P_{1z}^{mp}. \quad (7)$$

На другому рівні ймовірність досягнення цілі l -ої РП РЧМ по кожній z -ій частковій задачі визначається суперпозицією ймовірностей виконання завдання m -ми СРК по n -им РЕЗ (смугах частот)

$$P_{2lz} = \bigcup_{m=1}^d \bigcup_{n=1}^M \bigcup_{n=1}^N P_{3lzm} (Q_{lzm} < > \Psi_{lzm}), \quad (8)$$

де P_{3lzm} - ймовірність виконання завдання контролю m -им СРК по n -му РЕЗ (смузі частот); M і N - кількість СРК і РЕЗ l - ої РП РЧМ.

Для даного рівня критерій досягнення кожної z -ої підцілі виражається частковим предикатом

$$G_2 : P_{21z} \geq P_{21z}^{mp} . \quad (9)$$

На третьому рівні ймовірність досягнення цілі m -им СРК з контролю випромінювання n -ого РЕЗ (смути частот) в l -ої РП РЧМ визначається суперпозицією ймовірностей виконання всіх H_z операцій (табл. 2), необхідних при вирішенні z -ої задачі

$$G_{3h} : P_{3lzmnh} \geq P_{3lzmnh}^{mp} ; P_{lzmnh} \geq P_{lzmnh}^{mp} . \quad (10)$$

Тоді відповідно до введеної раніше міри контролю використання РЧР (1) найбільш повною характеристикою ступеня пристосованості СРЧМ до досягнення цілі (показником ефективності) на контрольованій території в смузі контрольованих частот і на заданому інтервалі часу буде ймовірність

$$P_{1Z} = \bigcup_{l=1}^L \bigcup_{z=1}^Z \rho_z P_{2lz} \left(S_{lz}^K \geq S_{lz}^{mp}, F_{lz}^K \geq F_{lz}^{mp}, T_{lz}^K \leq T_{lz}^{mp} \right) = \bigcup_{l=1}^L \bigcup_{z=1}^Z \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \bigcup_{h=1}^{H_g} \rho_z P_{lzmnh} \left(S_{lzmnh}^K \geq S_{lzmnh}^{mp}, F_{lzmnh}^K \geq F_{lzmnh}^{mp}, T_{lzmnh}^K \leq T_{lzmnh}^{mp} \right). \quad (11)$$

На основі виразів (6) - (11) нескладно отримати часткові (за завданнями) і інтегральні (за рівнями) імовірнісні показники ефективності функціонування СРЧМ з урахуванням охоплення відповідного просторово-частотно-часового континууму. Зокрема, в табл. 4 представлені інтегральні імовірнісні показники ефективності функціонування СРЧМ, РП РЧМ і СРК для планово встановленого часу контролю $T^{(k)}$ (змiна, місяць, квартал, рік).

З аналізу виразу (11) випливає, що в якості показників і критеріїв ефективності функціонування СРК по виконанню зазначених в табл. 2 операцій, можуть бути використані імовірнісні просторові-частотно-часові і точнісні, представлені в табл. 5.

Таблиця 4. Інтегральні ймовірнісні показники ефективності функціонування
СРЧМ, РП РЧМ і СРК

Рівень ієрархії	Показник ефективності	Аналітичний вираз
СРЧМ	P_{1L}	$P_{1L} = \bigcup_{l=1}^L P_{2lZMN} (S_l^{\kappa}, F_l^{\kappa}, T^{\kappa}) = f(S^{\kappa}, F^{\kappa}, T^{\kappa})$
РП РЧМ	P_{2lZMN}	$P_{2lZMN} = \bigcup_{z=1}^Z \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \rho_z P_{3lzmN} (S_{lzmN}^{\kappa}, F_{lzmN}^{\kappa}, T^{\kappa}) = f(S_l^{\kappa}, F_l^{\kappa}, T^{\kappa})$
СРК	P_{3lzmN}	$P_{3lzmN} = \bigcup_{z=1}^Z \bigcup_{n=1}^N \rho_z P_{3lzmN} (S_{lzmN}^{\kappa}, F_{lzmN}^{\kappa}, T^{\kappa}) = f(\Delta S_l^{\kappa}, \Delta F_l^{\kappa}, T^{\kappa})$
де: $P_{3lzmN} (S_{lzmN}^{\kappa}, F_{lzmN}^{\kappa}, T^{\kappa}) = \bigcup_{h=1}^{H_z} P_{lzmnh} \left\{ \vec{\eta} \in \Delta S_l^{\kappa} \wedge \vec{\alpha} \in \Delta F_l^{\kappa} \times \Delta T^{\kappa} / P_{0m}(f_n, \beta_n) \wedge P_{1m}(\vec{\alpha}) \right\}$; $\vec{\eta} = \{x_n, y_n\}$ – вектор координат РЕЗ; $\vec{\alpha} = \{f_n, \Delta f_n, \Delta \omega_n, U_n, \tau_n, t_n\}$ – вектор сигнальних ознак випромінювань РЕЗ; f_n – несівна частота; Δf_n – ширина спектру; $\Delta \omega$ – девіація частоти; U_n – напруженість поля; τ_n – тривалість сигналу; t_n – тривалість радіовипромінювання; $P_{0m}(f_n, \beta_n)$ – ймовірність виявлення випромінювання РЕЗ по частоті і напрямку; $P_{1m}(\vec{\alpha})$ – ймовірність ідентифікації випромінювання РЕЗ по вектору сигнальних ознак.		

Таблиця 5. Показники і критерії ефективності функціонування СРК

Найменування показника ефективності	Показник ефективності	Критерій ефективності
1. Імовірність охоплення випромінювань РЕЗ по простору, частоті і часу	$P_{3lzmN} (\Delta S_l^{\kappa}, \Delta F_l^{\kappa}, T^{\kappa})$	$P_{3lzmN} (\Delta S_l^{\kappa}, \Delta F_l^{\kappa}, T^{\kappa}) \geq P_{3lzmN} (\Delta S_l^{mp}, \Delta F_l^{mp}, T^{mp})$
2. Імовірність пошуку і виявлення випромінювання РЕЗ за частотою і напрямком	$P_{0m}(f_n, \beta_n)$	$P_{0m}(f_n, \beta_n) \geq P_{0m}^{mp}(f_n, \beta_n)$
3. Імовірність ідентифікації випромінювання РЕЗ за вектором сигнальних ознак	$P_{1m}(\vec{\alpha})$	$P_{1m}(\vec{\alpha}) \geq P_{1m}^{mp}(\vec{\alpha})$

4. Середньоквадратична помилка вимірювання напрямку на РЕЗ	$\sigma_m(\beta_n)$	$\sigma_m(\beta_n) \geq \sigma_m^{mp}(\beta_m)$
5. Середньоквадратична помилка ідентифікації координат РЕЗ	$\sigma_m(\vec{\eta})$	$\sigma_m(\vec{\eta}) \geq \sigma_m^{mp}(\vec{\eta})$
6. Середньоквадратична помилка вимірювання сигнальних ознак випромінювання РЕЗ	$\sigma_m(\vec{\alpha})$	$\sigma_m(\vec{\alpha}) \geq \sigma_m^{mp}(\vec{\alpha})$

Для порівняння результатів ефективності функціонування СРЧМ за звітні періоди необхідно визначити систему детермінованих кількісних показників ефективності, значення яких відповідали б значенням відповідних імовірнісних показників, що характеризують заданий рівень якості функціонування системи.

Детермінований підхід до оцінки ефективності функціонування базується на тому положенні, що сукупність завдань радіомоніторингу вирішується в деякій частині просторово-частотно-часового континууму. Результатом операції СРЧМ з урахуванням (1) є проконтролювати частина просторово-частотно-часового континууму

$$Q = V^{\kappa} = S^{\kappa} \cdot F^{\kappa} \cdot T^{\kappa}.$$

Для подальшого розгляду проблеми введемо такі позначення: V/N_Z - радіоспан, яку обіймає радіовипромінювання одного джерела; V^{κ}/N_Z - контрольований радіоспан; $N_Z = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$ - загальна кількість випромінювань джерел по під цілях операції, наведених табл. 1.

Тоді за логікою міркувань (5) - (11) введемо узагальнений показник ефективності функціонування СРЧМ по оцінці стану використання РЧР $Q = V^{\kappa} = S^{\kappa} \cdot F^{\kappa} \cdot T^{\kappa}$:

$$W^V = \left(\frac{V^{\kappa}}{N_Z}\right) / \left(\frac{V}{N_Z}\right) = \frac{V^{\kappa}}{V} = \frac{S^{\kappa} \cdot F^{\kappa} \cdot T^{\kappa}}{S \cdot F \cdot T} = \sum_{l=1}^L \sum_{z=1}^Z \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_z} \sum_{h=1}^{H_z} \rho_z \frac{\Delta S_{lzmnh}^{\kappa} \Delta F_{lzmnh}^{\kappa} \Delta T_{lzmnh}^{\kappa}}{\Delta S_{lzmnh} \Delta F_{lzmnh} \Delta T_{lzmnh}}, \quad (12)$$

де: $\Delta S_{lzmnh}^{\kappa} \Delta F_{lzmnh}^{\kappa} \Delta T_{lzmnh}^{\kappa}$ - просторово-частотно-часовий континуум, контрольований m -им СРК, який виконує h операцій по n -му РЕЗ (або смузі частот) при виконанні z -ої задачі в l -му регіоні;

$\Delta S_{lzmnh} \Delta F_{lzmnh} \Delta T_{lzmnh}$ - просторово-частотно-часовий континуум, на якому зареєстровані РЕЗ (смузи частот);

ρ_z - коефіцієнт важливості задачі;

H_z - загальна кількість операцій, необхідних для вирішення z -ї задачі;

M - загальна кількість СРК;

Z - загальна кількість задач РЧМ;

L - загальна кількість РП РЧМ.

При цьому критерій ефективності визначається вимагаємим значенням показника ефективності, який обґрунтовується виходячи з фінансово-економічних, технічних і організаційних можливостей СРЧМ

$$W^V \geq W^{Vmp}. \quad (13)$$

Розроблена на основі детермінованого підходу система кількісних показників оцінки ефективності функціонування СРЧМ за плановий період $T^{(\kappa)}$ представлена в таблиці 6. Науково-практична значущість і особливості використання показників, наведених у табл. 6, полягають в наступному.

Показник W^V в табл. 6 є основним показником ефективності контролю стану використання РЧР. Часткові показники (W^S , W^F , W^T) можуть бути використані для виявлення резервів підвищення ефективності функціонування СРЧМ з контролю заданих зон дії, частотного діапазону і витрат часу.

Показники 3 і 4 необхідні для оцінки ефективності функціонування стаціонарної та мобільної складових СРЧМ і визначення шляхів їх вдосконалення та взаємодоповнення.

Показник продуктивності 5 доцільно використовувати для оцінки обсягу робіт з радіомоніторингу РЧР, виконаних СРЧМ, регіональними підсистемами і

засобами (СРК) контролю за певний період часу.

Таблиця 6. Узагальнена таблиця показників ефективності функціонування
СРЧМ на всіх рівнях ієрархії

Найменування показника	Аналітичний вираз
1. Показник ефективності контролю використання РЧР	$W^V = \frac{S^K \cdot F^K \cdot T^K}{S \cdot F \cdot T}$
2. Часткові показники ефективності контролю використання виділеного РЧР по території, частотному діапазону і часу	$W^S = S^K / S, \\ W^F = F^K / F, W^T = T^K / T$
3. Показник ефективності функціонування стаціонарної складової СРЧМ	$W^{VC} = \left(\frac{S^{KC} \cdot F^{KC} \cdot T^{KC}}{S \cdot F \cdot T} \right)_{в \text{ зоні } ЭМД}$
4. Показник ефективності функціонування мобільної складової СРЧМ	$W^{VM} = \left(\frac{S^{KM} \cdot F^{KM} \cdot T^{KM}}{S \cdot F \cdot T} \right)_{вне \text{ зоны } ЭМД}$
5. Показник продуктивності СРЧМ за одиницю часу (годину, зміну, добу)	$\Pi = \frac{S^K \cdot F^K \cdot T^K}{T}$
6. Показник ефективності функціонування СРЧМ стосовно рішення сукупності задач оцінки використання РЧР	$W = \sum_{z=1}^Z \rho_z \cdot W_z, \quad \sum_{z=1}^Z \rho_z = 1$
6.1. Показник ефективності контролю відповідності параметрів випромінювань зареєстрованих РЕЗ нормативним документам	$W_1^V = \frac{N_1^K \cdot F^K \cdot T^K}{N_1 \cdot F \cdot T}$
6.2. Показник ефективності контролю зайнятості смуг радіочастот	$W_2^V = \frac{S^K \cdot \Delta F_2^K \cdot T^K}{S \cdot F \cdot T}, \quad \Delta F_2^K = \sum_{n=1}^{N_2} n \cdot \Delta f_n$
6.3. Показник ефективності виявлення незаконно діючих передавачів	$W_3^V = \frac{N_3^K \cdot F^K \cdot T^K}{N_3 \cdot F \cdot T}$
6.4. Показник ефективності виявлення джерел радіозавад роботі РЕЗ	$W_4 = \frac{N_4^K \cdot F^K \cdot T^K}{N_4 \cdot F \cdot T}$
7. Показник ефективності рішення задач контролю РЧР за рахунок реалізації нових властивостей системи	$W_z^{(V)} = \sum_{z=1}^Z \frac{W_z^V - W_z^{HY}}{1 - W_z^{HY}}$

Показники 6 дозволяють оцінити ефективність СРЧМ по вирішенню основних задач оцінки використання РЧР. При цьому показники 6.1, 6.3, і 6.4

визначають ефективність радіомоніторингу кількості РЕЗ, незаконно діючих передавачів(НДП) і ДРВ, розміщених на території, з урахуванням їх охоплення по частотному діапазону і витрат часу, а показник 6.2 - ефективність радіомоніторингу кількості зайнятих смуг частот з урахуванням їх охоплення по території і часу. У представленому вигляді показники 6 доцільно використовувати при безперервному процесі радіомоніторингу (контролю). При виявленні НДП і джерел радіозавад завжди існує апіорна невизначеність щодо їх місця розташування, частотних характеристик випромінювання і часу роботи. Дана обставина істотно знижує ймовірність і відповідно ефективність виявлення НДП і джерел РП при проведенні періодичного контролю. У цьому випадку для визначення показника ефективності виявлення НДП доцільно використовувати підхід, при якому на основі результатів радіомоніторингу в попередні періоди часу прогнозується загальна кількість НДП в зоні відповідальності СРЧМ на поточний (плановий) період, $N_3 = N_3^{np}$. Одночасно для визначення показника ефективності виявлення джерел радіозавад необхідно використовувати відомий підхід, заснований на задоволенні заявок користувачів РЧР про наявність завад у виділених смугах частот $N_4 = N_4^3$. Якщо на виявлення НДП і джерел радіозавад керівним органом встановлюється директивний час $T^{\partial\psi}$, то для додаткової оцінки ефективності вирішення цих задач можна використовувати показник оперативності

$$(W_z^{on})_{z=3,4} = T_z^{\partial\psi} - T_z^{\kappa} / T_z^{\partial\psi}. \quad (14)$$

Цей показник може набувати значень від 0 до 1. При від'ємному значенні показника (14) завдання вважається невиконаним.

Техніко-виробничі показники ефективності 6 за рішенням сукупності задач оцінки використання РЧР служать основою для розрахунку як інтегральних, так і виробничих показників ефективності функціонування СРЧМ і її регіональних підсистем.

Показник 7 табл. 6 характеризує ефективність вирішення задач контролю РЧР за рахунок реалізації нових властивостей системи. Цей показник являє собою нормований відносний приріст ефективності рішення z -ої задачі за рахунок удосконалення СРЧМ, значення якого повинно знаходитися в інтервалі $(0 \dots 1)$. При цьому ефективність рішення z -ої задачі при реалізації ідеальної системи дорівнює одиниці, а для реальної системи ця величина завжди буде менше одиниці. Якщо ефективність рішення z -ої задачі по планованому удосконаленню СРЧМ стає менше існуючої, то показник 7 приймає значення менше нуля, що свідчить про негативний ефект.

Відповідно до виразу (12) і табл. 6 процедура оцінювання ефективності ведення радіомоніторингу СРЧМ полягає в розрахунку показників ефективності 6, 5, 4, 3 на рівнях СРК і РП РЧМ. За значеннями цих показників розраховуються показники ефективності стаціонарної 3 і мобільної 4 складових СРЧМ, а потім - показник ефективності функціонування СРЧМ в цілому, наведений в рядку 1 табл. 6.

Запропонований методологічний підхід і розроблена єдина система показників можуть застосовуватися для оцінювання ефективності функціонування будь-яких з національних СРЧМ з мінімальною адаптацією до специфіки функціонування конкретної системи і її основних складових.

ВИСНОВКИ

Для оцінки ефективності ведення радіомоніторингу СРЧМ запропоновано і обґрунтовано використання просторово-частотно-часового методу, який встановлює діалектичний зв'язок між об'єктивно існуючим в просторово-частотно-часовому континуумі РЧР та ступенем його охоплення радіомоніторингом. Використання даного методу дозволило визначити міру радіомоніторингу у вигляді контрольованого просторового-частотно-часового континууму існування РЧР та головну ціль функціонування (ведення радіомоніторингу) СРЧМ у вигляді функції цілепокладання контрольованого і виділеного просторово-частотно-часових континуумів.

Для обґрунтованої трирівневої ієрархічної моделі СРЧМ України в смугах частот загальних користувачів у відповідності з головною метою її функціонування і завданнями на основі системного підходу визначено декомпозовані підцилі і побудовано «дерево» цілей, підцилей та операцій на відповідних рівнях ієрархії: СРЧМ, РП РЧМ і СРК. Такий підхід забезпечує аналіз будь-якої СРЧМ як цілісного утворення, в якому між структурою і функціями існує взаємозв'язок та взаємозумовленість, з урахуванням всієї сукупності завдань і технічних характеристик її підсистем та елементів.

Для кількісної оцінки результату операції, проведеної СРЧМ, запропоновано узагальнений показник результату операції у вигляді вектора, компоненти якого суть показники найбільш важливих окремих результатів, що відбивають результативність, ресурсомісткість і оперативність операції. Подання узагальненого показника результату операції у вигляді степеневі функції дозволяє отримати систему показників, що включає як зазначені основні показники, так і найважливіші похідні показники по продуктивності і ефективності-вартості. У загальному випадку ця система показників забезпечує оцінювання технічної, економічної, виробничої, техніко-економічної та техніко-виробничої ефективності функціонування СРЧМ, РП РЧМ і СРК по досягненню головної цілі: оцінки використання національного РЧР.

На основі просторово-частотно-часового методу розроблена комплексна система техніко-виробничих показників і критеріїв, що дозволяє оцінювати ефективність функціонування СРЧМ на різних рівнях її ієрархії. Комплексна система показників включає групи імовірнісних та детермінованих показників, що характеризують ефективність техніко-виробничої діяльності по досягненню цілей функціонування СРЧМ, її підсистем і елементів.

Система імовірнісних показників ефективності призначена для якісної оцінки потенційної ефективності ведення радіомоніторингу СРЧМ і прогнозу її розвитку на наступні періоди. Крім того, вона дозволяє також оцінити ефективність ведення радіомоніторингу існуючими СРК і пред'явити вимоги до модернізованих і перспективних засобів.

Детермінована система показників, сформована в рамках запропонованого підходу, дозволяє оцінювати ефективність ведення радіомоніторингу СРЧМ з метою отримання даних, необхідних для управління використанням РЧР, та може застосовуватися на різних рівнях організаційної структури даної системи, починаючи з досягнення загальних цілей системи і закінчуючи окремими операціями РЧМ.

Розроблені математичні моделі, методи та алгоритми впроваджені в навчальний процес на кафедрі «Інформаційно-мережевої інженерії» Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) та використовувались при виконанні двох планових і в чотирьох госпрозрахункових науково-дослідних робіт (відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України) Проблемною науково-дослідною лабораторією радіомоніторингу і обробки радіотехнічної інформації Науково-дослідного центру інтегрованих інформаційних систем і технологій науково-дослідної частини ХНУРЕ.