

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

КОВШАР ВАЛЕНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.371.34

**ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
РЕГІОНАЛЬНИХ ПІДСИСТЕМ РАДІОМОНІТОРИНГУ З КОНТРОЛЮ
ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ**

05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків — 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат тех. наук, старший науковий співробітник
Калюжний Микола Михайлович
Харківський національний університет
радіоелектроніки Міністерства освіти і науки
України, завідувач ПНДЛ РМОПТІ НДЦ ПРЕСТ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кобзєв Анатолій Васильович,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І.
Кожедуба Міністерства оборони України, провідний
науковий співробітник Наукового центру Повітряних
Сил

кандидат технічних наук
Жила Семен Сергійович
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», завідувач кафедри аерокосмічних
радіоелектронних систем

Захист відбудеться “12” березня 2021 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, ауд. № 13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розіслано “ 3 ” лютого 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема підвищення ефективності в багатьох сферах діяльності сучасного суспільства з кожним днем набуває все більшого значення. У зв'язку з інтенсивним розвитком інформаційних радіоелектронних систем і технологій ця проблема торкнулася і сфери радіочастотного моніторингу. Зростання кількості радіоелектронних засобів (РЕЗ) та різних випромінюючих пристроїв (ВП) в кінцевому підсумку приведуть до того, що національні радіочастотні органи, на певному етапі, без належної модернізації і розвитку, втратять своє значення і можливості впливу на якісне управління в сфері регулювання використання радіочастотного ресурсу (РЧР).

Система радіочастотного моніторингу (СРЧМ) України активно розвивалася протягом останніх 15 років і на сьогоднішній день є однією з найбільших в Європі. Вона була створена Державним підприємством «Український державний центр радіочастот» (ДП «УДЦР») і в даний час включає до свого складу близько 140 мобільних і майже 200 стаціонарних станцій радіоконтролю (СРК), які розгорнуті в більш ніж 100 населених пунктах України. Процесом радіомоніторингу охоплені близько 200 тис. РЕЗ. При цьому всі стаціонарні СРК працюють в автоматизованому режимі, а їх функціональні і технічні можливості повністю відповідають вимогам Міжнародного союзу електрозв'язку. Деякі зразки мобільних засобів, зокрема, спеціалізовані СРК типу ССТК і РМ-ШСД є унікальними. Результат функціонування просторово-розподіленої СРЧМ і її РП РЧМ безпосередньо впливає на прийняття управлінських рішень в сфері регулювання РЧР. Удосконалення і підвищення ефективності РП РЧМ дозволить не тільки зберегти поточні позиції, але і істотно підвищити можливості системи в сфері регулювання використання національного РЧР в сучасних умовах розвитку телекомунікацій.

Проведений аналіз літератури показав, що в прямій постановці немає єдиного і чітко сформульованого підходу щодо оцінювання техніко-виробничо-економічної ефективності систем і процесу ведення радіочастотного моніторингу (РЧМ). Не існує методик, єдиної системи показників і критеріїв ефективності виконання різних технічних завдань РЧМ на всіх ієрархічних рівнях системи, а існують публікації тільки за окремими складовими РЧМ та частковими показниками ймовірнісної, виробничої або економічної ефективності. Тому є актуальною тема дисертаційної роботи, яка присвячена розробці науково-методичного апарату оцінювання ефективності РП РЧМ, системи показників та критеріїв їх оцінювання і програмно-алгоритмічного забезпечення для проведення автоматизованих розрахунків з метою підвищення ефективності РЧМ і електромагнітної сумісності РЕЗ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження пов'язані з науково-дослідними роботами, виконаними в Харківському національному університеті радіоелектроніки: «Дослідження складових підсистем спостереження, навігації, радіомоніторингу, зв'язку державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухом об'єктами» (ДР № 0113U00360); «Перспективні технології та засоби спостереження, навігації та радіомоніторингу в інтегрованих інформаційних системах управління складаними динамічними об'єктами» (ДР № 0111U002629); «Розробка показників ефективності

функціонування системи радіочастотного моніторингу», (ДР №0110U004209); «Розроблення програмного забезпечення для розрахунків ефективності функціонування системи радіомоніторингу і ЕМС засобів радіоконтролю на місці їх розташування», (ДР № 0112U004397); «Розроблення програмного забезпечення для розрахунків зон електромагнітної досяжності станцій радіоконтролю на території України», (ДР №0113U005902), в яких здобувач був виконавцем.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка підходу і методу оцінювання техніко-виробничої ефективності роботи РП і засобів РЧМ по вирішенню основних завдань РЧМ для обґрунтування пропозицій і рекомендацій щодо їх вдосконалення в інтересах подальшого розвитку СРЧМ.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалася актуальна науково-технічна задача розробки науково-методичного апарату оцінювання ефективності функціонування РП РЧМ і СРК, що базується на запропонованому системно-методологічному підході, який включає системний аналіз складних ієрархічних систем і просторово-частотно-часовий метод оцінювання ефективності радіомоніторингу виділеного РЧР та дозволяє, **на відміну від відомих**, провести інтегральну техніко-виробничу оцінку ефективності їхньої роботи щодо вирішення основних завдань радіомоніторингу в просторово-частотно-часовій області існування випромінювань радіоелектронних засобів (РЕЗ). **Для розробки науково-методичного апарату були вирішені окремі задачі.**

1. Проведено інформаційно-аналітичні дослідження за принципами побудови, структурою, функціями, важливістю завдань, технічним оснащенням і об'єктам радіомоніторингу національних СРЧМ, на підставі яких сформульовано задачу оцінювання ефективності ведення РЧМ підсистемами і СРК.

2. Створено науково-методичний апарат оцінювання техніко-виробничої ефективності функціонування СРЧМ, що включає вдосконалений системно-методологічний підхід, **просторово-частотно-часовий (space-frequency-temporal - SFT) метод** охоплення РЧМ випромінювань РЕЗ, методику розрахунку з єдиною системою показників і критеріїв ефективності, процедури розрахунку і прогнозу показників ефективності на трьох рівнях ієрархії СРЧМ.

3. Розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення для автоматизації розрахунку інтегральних техніко-виробничих і часткових виробничих показників ефективності ведення радіочастотного моніторингу СРК, РП РЧМ і СРЧМ в цілому, їх стаціонарною та мобільною складовими за заданий період часу і прогнозування їх на майбутні періоди.

4. На основі вихідних даних по реальним характеристикам РП РЧМ і СРК, що визначаються розробленою методикою, проведені розрахунки зазначених вище показників ефективності для всіх РП РЧМ, аналіз яких дозволив виявити сильні і слабкі сторони ведення радіочастотного моніторингу кожної РП РЧМ з контролю кожної групи радіотехнологій та вирішення кожного завдання РЧМ;

5. Розроблені рекомендації щодо розвитку і вдосконалення СРК, РП РЧМ і національної СРЧМ загальних користувачів.

Об'єкт дослідження – регіональні підсистеми і процес ведення РЧМ використання РЧР випромінюваннями РЕЗ різних радіотехнологій.

Предмет дослідження - підходи, метод, методика, процедури і алгоритми оцінювання ефективності ведення РЧМ регіональними підсистемами і СРК радіовипромінювань РЕЗ та зайнятості смуг частот.

Методи дослідження – інформаційно-аналітичний та просторово-частотно-часовий методи, системний підхід, методи теорії ймовірностей, об'єктно-орієнтоване програмування і підходи до побудови об'єктно-реляційних баз даних.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Отримав подальший розвиток методологічний підхід до оцінювання ефективності систем і процесу ведення РЧМ, який об'єднує системний підхід до аналізу складних ієрархічних систем і SFT підхід до охоплення РЧМ РЕЗ, що випромінюють, по території, частотному діапазону і за часом. На базі такого підходу запропоновані узагальнені показники і система часткових показників, **які, на відміну від відомих, дозволяють оцінювати технічну, економічну, виробничу, техніко-економічну і техніко-виробничу ефективність СРЧМ, її РП РЧМ і СРК.**

2. Вперше запропоновано і обґрунтовано **SFT метод** для оцінювання інтегральної техніко-виробничої ефективності систем і процесу ведення РЧМ, **який встановлює зв'язок між об'єктом існуючим в просторі, по частоті та часі РЧР і ступенем його охоплення РЧМ.** На підставі даного методу розроблено систему узагальнених SFTдетермінованих і імовірнісних показників і критеріїв оцінювання ефективності СРЧМ по виконанню основних завдань і радіотехнологій на трьох рівнях їх ієрархії.

3. Вперше розроблена методика і система часткових показників ефективності оцінювання інтегрального корисного результату ведення РЧМ національними СРЧМ, яка враховує реальні дані з технічного оснащення СРЧМ, характеристики радіотехнологій, площа і чисельність населення контрольованих регіонів. **Методика і система часткових показників дозволяють, на відміну від відомих, оцінити не тільки виробничу, але і техніко-виробничу ефективність СРЧМ.**

4. Удосконалено методика оцінювання ефективності різнотипних СРК з комплексного виконання основних завдань РЧМ існуючих груп радіотехнологій. **На відміну від відомих, дана методика дозволяє оцінити продуктивність кожного СРК, оптимізувати кількісно-якісний склад парку СРК в РП РЧМ і підвищити ефективність планування і ведення процесу РЧМ національної СРЧМ загальних користувачів РЧР.**

Практична значимість отриманих результатів полягає в універсальності розробленого науково-методичного апарату щодо оцінювання у SFT області ефективності ведення РЧМ будь-якої національної СРЧМ з метою отримання результатів, необхідних для управління використанням РЧР, і застосовності на різних рівнях організаційної структури, починаючи з досягнення загальних цілей системи і закінчуючи окремими операціями. **Розроблене ПЗ дозволяє проводити автоматизовані розрахунки інтегральних техніко-виробничих і часткових виробничих показників ефективності функціонування СРЧМ, РП РЧМ і СРК за заданий період часу і їх прогнозування.** Аналіз розрахованих показників ефективності дозволяє виявити сильні і слабкі сторони функціонування кожної РП РЧМ і СРЧМ з контролю кожної групи радіотехнологій та вирішення кожного

завдання РЧМ, недостатність або надмірність відповідних СРК. **Розроблене ПЗ перевірено на практиці при оцінюванні техніко-виробничої та виробничої ефективності ведення радіочастотного моніторингу національною СРЧМ.** Практичне значення і цінність одержаних результатів роботи підтверджена актами впровадження і використання ДП «Український державний центр радіочастот».

Особистий внесок здобувача. У роботах [1, 9, 16] автор запропонував застосувати спільно з системним підходом SFT-підхід. А в роботах [1, 6, 11, 14] обґрунтував зміст SFT- методу і представив розроблену систему інтегральних показників і критеріїв їх оцінювання. У [2, 3, 10] розробив систему часткових показників оцінювання ефективності РЧМ стаціонарною, мобільною складовими і РП РЧМ в цілому. У роботах [4, 12, 17, 20] автором обґрунтовується методичний підхід і показники оцінювання ефективності роботи і використання різнотипних СРК. У роботах [5, 7, 13, 15, 19] представлені розроблені автором алгоритм і БД для ПЗ автоматизованого розрахунку всіх показників ефективності ведення РЧМ окремими СРК, РП РЧМ і СРЧМ, а також результати експерименту. Автор провів аналіз моделей розрахунку втрат і напруженості поля сигналу на трасі РРВ з урахуванням рельєфу і забудови місцевості [21], взяв участь в розробці алгоритму розрахунку зон електромагнітної доступності (ЕМД) широкодіапазонних СРК [14, 18] і застосував дані результати до оцінки охоплення контролем РП РЧМ площі регіону. В роботі [22] за участю автора розроблено алгоритм побудови спектральних масок РЕЗ різних радіотехнологій для інтеграції в СРК з метою підвищення їх ефективності. Роботи [12, 14, 24] виконані автором самостійно. Всі чисельні розрахунки були виконані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях: «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ ст.» (м. Харків, 2009-2015гг.), «Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку» (м. Харків, 2011-2017 рр.), «Радіолокація навігація зв'язок» (м. Вороніж, Російська Федерація 2012р.), «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку» (м. Харків, 2015р.), X Anniversary international conference on antenna theory and techniques ICATT-2015 (Kharkiv, Ukraine, 2015р.), «Новітні технології - для захисту повітряного простору» Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба (м. Харків 2010-2018 рр.) та ін.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи: опубліковано 28 робіт, в тому числі 7 статей у науково-технічних журналах, 5 у фахових виданнях України, з яких 3 індексується в іноземних наукометричних базах (Index Copernicus, GoogleScholar), 2 статті опубліковані в зарубіжному виданні Індійської академії наук (Index Copernicus); 16 тез доповідей (1 Scopus) - в матеріалах національних і міжнародних науково-технічних конференцій; 2 експоната на виставках технічної творчості молоді; 3 свідоцтва авторського права та 1 патент на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертація містить 166 сторінок, 17 рисунків, 26 таблиць, список джерел з 118 найменувань на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подана загальна характеристика роботи. Обґрунтована актуальність досліджень, сформульовані основна мета, завдання і методи їх розв'язання, визначена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Зазначено особистий внесок автора у спільних роботах, наведені дані про апробацію та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** приведено результати інформаційно-аналітичних досліджень, які показали, що основною метою РЧМ на національному рівні є запобігання несанкціонованого використання РЧР, виявлення і усунення радіозавад в мережах зв'язку. Для реалізації функцій спостереження за станом використання РЧР створюються служби РЧМ і в узагальненому вигляді визначаються для них задачі на міжнародному та національному рівні. Технічні і програмні засоби об'єднуються в СРЧМ, яка повинна забезпечувати отримання об'єктивної інформації про стан ЕМО і стан використання РЧР. Проведений аналіз показав, що всі національні СРЧМ мають ієрархічну структуру і в залежності від території держави будуються за зональним, об'єктовим та зонально-об'єктовим принципом. Проведений аналіз функцій, задач і технічного оснащення національної СРЧМ дозволив представити її у вигляді трирівневої ієрархічної структури із зонально-об'єктовим способом охоплення радіовипромінювань РЕЗ. Для визначення якісно-кількісних можливостей національної СРЧМ і РП РЧМ, напрямків та шляхів їх вдосконалення обґрунтовано необхідність розробки науково-методичного та програмно-алгоритмічного апаратів оцінювання техніко-виробничої ефективності системи і процесу ведення РЧМ використання РЧР. Для розробки науково-методичного апарату запропоновано використовувати системно-методологічний підхід, заснований на комплексному використанні системного підходу до аналізу структурно складних систем і SFT підходу до оцінювання ефективності РЧМ.

У **другому розділі** обґрунтовується методологічний підхід до оцінювання ефективності функціонування СРЧМ і процесу ведення радіомоніторингу РП РЧМ і СРК. Мета функціонування СРЧМ тісно пов'язана з поняттями «радіочастотний моніторинг» і «система радіочастотного моніторингу». Проведені в [1-24] дослідження дозволили сформулювати ці поняття. **РЧМ** - це комплекс узгоджених за задумом, завданням, місцем і часом організаційних і технічних заходів щодо збору, обробки, аналізу, узагальнення, зберігання та відображення даних про параметри випромінюваних сигналів і характеристик РЕЗ для оцінювання стану використання РЧР та підтримки прийняття управлінських рішень в сфері його регулювання. **СРЧМ** - 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, параметри сигналів і характеристики випромінювань РЕЗ, розміщених в районі контролю. З цих визначень і аналізу завдань, покладених на СРЧМ [2, 3], витікає, що головною метою її функціонування ($A_{СРЧМ}$) є оцінювання стану використання РЧР для підтримки прийняття управлінських рішень в сфері його регулювання. РЧР, 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, було запропоновано ввести в якості міри ступеню охоплення виділеного РЧР системою РЧМ у вигляді контрольованого SFT простору:

$$V^k = S^k \cdot F^k \cdot T^k, \quad (2.1)$$

де S^k - контрольований простір, F^k - контрольований частотний діапазон, T^k - час контролю. Міра (2.1) визначає суть методологічного SFT підходу до оцінювання ефективності функціонування СРЧМ і встановлює діалектичний зв'язок між РЧР, що використовується, та ступенем його охоплення РЧМ. У відповідність з цим підходом функція цілепокладання, що характеризує здатність СРЧМ виконувати завдання та відповідні цілі її функціонування, є функцією виділеного і контрольованого SFT простору:

$$\Phi(A_{СРЧМ}) = f(S, S^k, F, F^k, T, T^k). \quad (2.2)$$

При фіксованих значеннях S, F, T , функція має вигляд:

$$\Phi(A_{СРЧМ}) = f(S^k, F^k, T^k). \quad (2.3)$$

Декомпозиція головної мети функціонування національної СРЧМ повинна базуватися на аналізі її структурно-ієрархічної побудови та основних завдань, що вирішуються на відповідних рівнях ієрархії. Розглянуті загальні підходи і вимоги до побудови СРЧМ визначили, що для забезпечення вирішення завдань РЧМ в країнах з територією в сотні тисяч кв. км національні СРЧМ будуються за трирівневим ієрархічним принципом. Кожна з РП РЧМ вносить свій внесок в досягнення головної мети функціонування всієї СРЧМ. Відповідно метою функціонування РП РЧМ ($A_{РПРЧМ}$) є збір, обробка, аналіз, узагальнення та збереження даних про параметри сигналів і характеристики випромінювань РЕЗ. Смісловий зміст декомпозиції основної цілі на підцілі, визначений на основі аналізу нормативних документів, наведено в табл. 1. Для їх досягнення СРК реалізують повністю або частково виконання елементарних операцій: пошук і виявлення випромінювань РЕЗ по частоті і напрямку A_{o_1} ; інструментальне оцінювання параметрів випромінювань РЕЗ A_{o_2} ; ідентифікацію радіовипромінювань РЕЗ A_{o_3} ; ідентифікацію РЕЗ A_{o_4} ; спостереження за радіовипромінюваннями A_{o_5} ; пеленгування РЕЗ A_{o_6} ; визначення місцезнаходження РЕЗ A_{o_7} .

Табл. 1 - Підцілі функціонування СРЧМ

СРЧМ	Підцілі для рівня		Найменування підцілі
	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

Результатом декомпозиції є визначення деревовидної структури цілей функціонування СРЧМ на всіх рівнях ієрархії, яка представлена на рис. 1.

Для досягнення поставленої цілі необхідна цілеспрямована діяльність СРЧМ, яка реалізується в процесі виконання операції, що в даному випадку є процесом ведення РЧМ. Операція

формується в рамках, які в якості основних компонентів містять орган управління операцією, підсистеми, активні засоби і об'єкти контролю (рис. 1). По відношенню до СРЧМ мета операції $A_{СРЧМ}$ виступає основним системоутворюючим фактором, як спосіб інтеграції різних дій в єдину послідовність. Крім того, вона дозволяє встановити єдину метрику показників результату операції на всіх рівнях. Ефективне проведення операції СРЧМ забезпечується сукупністю її загальносистемних,

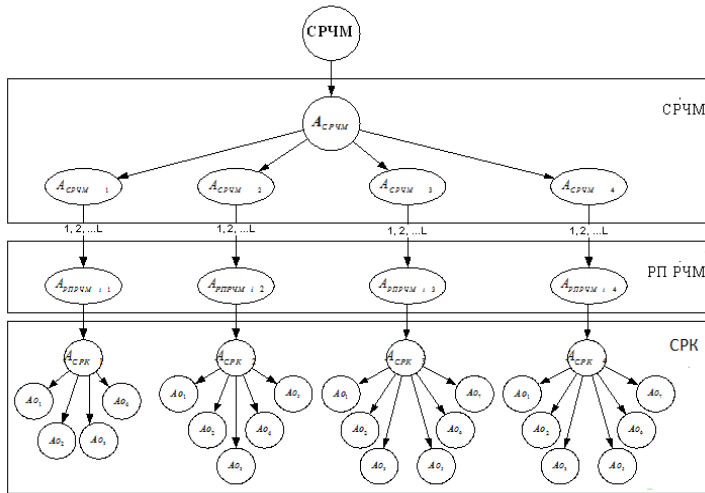


Рис. 1 Деревовидна структура цілі функціонування СРЧМ

структурних і функціональних властивостей. До функціональних властивостей відносяться результативність, ресурсомісткість, оперативність, продуктивність, економічність, активність, потужність, швидкодія, точність та ін.

Якість результату операції і алгоритм, що забезпечує його отримання, оцінюються функціональними показниками якості операції, основними з яких, на наш погляд, є: результативність Q , яка визначає одержуваний цільовий ефект для досягнення якого функціонує система; ресурсомісткість C , що характеризує витрати всіх видів для отримання цільового ефекту; оперативність T_o , яка визначає витрату часу для досягнення цілі операції. У сукупності результативність, ресурсомісткість і оперативність породжують комплексну властивість - ефективність $R_{эф}$ процесу РЧМ - ступінь його пристосованості до досягнення цілі, а саме: оцінювання стану використання РЧР. Комплексна властивість показника проявляється при веденні РЧМ і залежить від властивостей операції та властивостей зовнішнього середовища. Її можна представити у вигляді вектору, який об'єднує окремі результати показників результативності, ресурсомісткості і оперативності: $R_{эф} = \{R_Q, R_C, R_{T_o}\}$. Представимо узагальнений показник результату операції у вигляді статичної функції:

$$R_{эф} = \zeta_0 \cdot Q^{\zeta_1} \cdot C^{\zeta_2} \cdot T_o^{\zeta_3}, \quad (2.4)$$

де $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, - показники ступеня. Параметри показника результату $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, можуть набувати значень $0, \pm 1$. У табл. 2 наведені практичні варіанти використання узагальненого показника результату операції. Таким чином, узагальнений показник результату операції в вигляді (2.4) 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.

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

до введених узагальненого показника результату операції (2.4) і його частковими значеннями (табл. 2) 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 мети.

Найбільш важливою і універсальною з точки зору запропонованого SFT 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 використаємо імовірнісний і детермінований підходи.

При **імовірнісному підході** в якості загального показника ефективності функціонування СРЧМ на верхньому рівні використаємо ймовірність досягнення мети за рішенням всіх завдань РЧМ

$$P_{1Z} = P(Q_{<Z>} <> \Psi_{<Z>}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega_Q(Q_{<Z>}) d\Theta_{\Psi}(\Psi_{<Z>}), \quad (2.5)$$

де $\Omega_Q(Q_{<Z>}) = P(Q_{<Z>} <> Q_{<Z>}^*) = P(\bigcup_{z=1}^Z (Q_z <> Q_z^*))$ - інтегральний закон розподілу випадкового вектора Q_z корисного результату операції, $\Theta_{\Psi}(\Psi_{<Z>}) = P(\Psi_{<Z>} <> \Psi_{<Z>}^*) = P(\bigcup_{z=1}^Z (\Psi_{<Z>} <> \Psi_{<Z>}^*))$ - функція розподілу випадкового вектора $\Psi_{<Z>}$ необхідних результатів.

Табл. 2 Узагальнений показник результату операції

№	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.	$\zeta_0 = \zeta_1 = 1;$ $\zeta_2 = 0;$ $\zeta_3 = -1$	$R_{\Pi} = \frac{Q}{T_o}$	Продуктивність в операції
5.	$\zeta_0 = \zeta_1 = 1;$ $\zeta_2 = -1;$ $\zeta_3 = 0$	$R_{\Theta} = \frac{Q}{C}$	Ефективність-вартість операції

Оскільки підцілі (табл. 1) є несумісними подіями і РП РЧМ незалежно вирішують поставлені перед ними завдання радіомоніторингу, то узагальнений показник P_{1Z} ефективності функціонування СРЧМ в загальному випадку представляється у вигляді суперпозиції ймовірностей досягнення цілей регіональними підсистемами:

$$P_{1Z} = \bigcup_{z=1}^d \rho_z P_{1z}(Q_z <> \Psi_z) = \bigcup_{l=1}^d \bigcup_{z=1}^L \rho_z P_{2lz}(Q_{lz} <> \Psi_{lz}), \quad (2.6)$$

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. При цьому критерії ефективності задаються частковими предикатами:

$$G_{1Z} : P_{1Z} \geq P_{1Z}^{nomp}; G_{1z} : P_{1z} \geq P_{1z}^{nomp}. \quad (2.7)$$

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

$$P_{2lz} = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N P_{3lzm} (Q_{lzm} \langle \Psi_{lzm} \rangle), \quad (2.8)$$

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

$$G_2 : P_{2lz} \geq P_{2lz}^{nomp}. \quad (2.9)$$

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

$$G_{3h} : P_{3lzm} \geq P_{3lzm}^{nomp}; P_{lzmh} \geq P_{lzmh}^{nomp}. \quad (2.10)$$

Тоді відповідно до введеної раніше міри контролю використання РЧР (2.1) найбільш повною характеристикою ступеня пристосованості СРЧМ до досягнення мети (показником ефективності) на контрольованій території, в смузі контрольованих частот і на заданому інтервалі часу буде ймовірність

$$P_{lZ} = \bigcup_{l=1}^L \bigcup_{z=1}^Z \rho_z P_{2lz} (S_{l_z}^k \geq S_{l_z}^{nomp}, F_{l_z}^k \geq F_{l_z}^{nomp}, T_{l_z}^k \leq T_{l_z}^{nomp}) = \bigcup_{l=1}^L \bigcup_{z=1}^Z \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \bigcup_{h=1}^{H_z} \rho_z P_{lzmh} (S_{lzm}^k \geq S_{lzm}^{nomp}, F_{lzm}^k \geq F_{lzm}^{nomp}, T_{lzm}^k \leq T_{lzm}^{nomp}). \quad (2.11)$$

З аналізу виразу (2.11) маємо, що в якості показників і критеріїв ефективності функціонування СРК, по виконанню операцій, можуть бути використані ймовірнісні SFT і точнісні, які наведені в дисертаційній роботі.

Детермінований підхід базується на тому положенні, що сукупність завдань РЧМ вирішується в деякій частині SFT простору. Результатом операції СРЧМ з урахуванням (2.1) є контроль частини SFT простору $Q = V^k = S^k \cdot F^k \cdot T^k$. Для подальшого вирішення задачі, що розглядається, введемо такі позначення: V/N_Z - радіоспан, який охоплює радіовипромінювання одного джерела; V^k/N_Z - контрольований радіоспан; $N_Z = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$ - загальна кількість випромінювань джерел по підцілям операції, наведеним в табл. 2. Тоді згідно з (2.5) - (2.11) введемо узагальнений показник з оцінювання стану використання РЧР $Q = V^k = S^k \cdot F^k \cdot T^k$:

$$W^V = \left(\frac{V^k}{N_Z} \right) / \left(\frac{V}{N_Z} \right) = \frac{V^k}{V} = \frac{S^k \cdot F^k \cdot T^k}{S \cdot F \cdot T} = \sum_{l=1}^L \sum_{z=1}^Z \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_z} \sum_{h=1}^{H_z} \rho_z \frac{\Delta S_{lzmh}^k \Delta F_{lzmh}^k \Delta T_{lzmh}^k}{\Delta S_{lzm} \Delta F_{lzm} \Delta T_{lzm}}, \quad (2.12)$$

де $\Delta S_{lzmh}^k \Delta F_{lzmh}^k \Delta T_{lzmh}^k$ - SFT простір контрольований m -ою СРК, яка виконує h -операцій по n -му РЕЗ (або смузі частот) при виконанні z -ої задачі в l - регіоні; $\Delta S_{lzm} \Delta F_{lzm} \Delta T_{lzm}$ - SFT простір, на якому зареєстровані РЕЗ (смузі частот); ρ_z - коефіцієнт важливості задачі; H_z - загальна кількість операцій, необхідних для виконання z -ої задачі; M - загальна кількість СРК; Z - загальна кількість задач; L - загальна кількість РП РЧМ. При цьому критерій ефективності визначається необхідним значенням показника ефективності, який визначається, виходячи з фінансово-економічних, технічних і організаційних можливостей

СРЧМ $W^V \geq W^{Vmm}$. При виявленні НДП і джерел РП існує завжди апріорна 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 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 РП необхідно використовувати відомий підхід, заснований на задоволенні заявок користувачів РЧР про наявність перешкод в виділених смугах частот $N_4 = N_4^3$.

Третій розділ присвячений розробленій методиці оцінювання техніко-виробничої ефективності ведення радіомоніторингу РП РЧМ. Для визначення напрямків підвищення ефективності СРЧМ на основі виразу (2.12) була розроблена єдина система часткових показників (табл. 3) оцінювання ефективності РЧМ стаціонарними, мобільними складовими і РП РЧМ в цілому при вирішенні основних завдань. Для врахування особливостей об'єктів РЧМ використана класифікація радіотехнологій на $J = 4$ класи, в яких враховано застосування однотипних методів і однотипних СРК з проведення робіт, пов'язаних з РЧМ і електромагнітною сумісністю РЕЗ. Відповідно до виразу (2.12) в методиці використовуються кількість РП РЧМ їх технічна оснащеність, кількість, типи і технічні характеристики РЕЗ, групи радіотехнологій, площа контрольованого району та ін.

Табл. 3 Система часткових показників оцінювання ефективності

Задача	За простором S			За частотою F			За часом T		
	стац.	моб.	общ.	стац.	моб.	общ.	стац.	моб.	общ.
1	$W_{PE3 Sl-cm}$	$W_{PE3 Sl-моб}$	$W_{PE3 Sl}$	$W_{PE3 Fl-cm}$	$W_{PE3 Fl-моб}$	$W_{PE3 Fl}$	$W_{PE3 Tl-cm}$	$W_{PE3 Tl-моб}$	$W_{PE3 Tl}$
2	$W_{C4 Sl-cm}$	$W_{C4 Sl-моб}$	$W_{C4 Sl}$	$W_{C4 Fl-cm}$	$W_{C4 Fl-моб}$	$W_{C4 Fl}$	$W_{C4 Tl-cm}$	$W_{C4 Tl-моб}$	$W_{C4 Tl}$
3	$w_{HDP Sl cm}$	$w_{HDP Sl моб}$	$w_{HDP Sl}$	$w_{HDP Fl cm}$	$w_{HDP Fl моб}$	$w_{HDP Fl}$	$w_{HDP Tl cm}$	$w_{HDP Tl моб}$	$w_{HDP Tl}$
4	$W_{DP3 Sl-cm}$	$W_{DP3 Sl-моб}$	$W_{DP3 Sl}$	$W_{DP3 Fl-cm}$	$W_{DP3 Fl-моб}$	$W_{DP3 Fl}$	$W_{DP3 Tl-cm}$	$W_{DP3 Tl-моб}$	$W_{DP3 Tl}$

СРК можуть використовуватися за призначенням, як в робочій час, так і цілодобово. Це залежить від ресурсу робочого часу, який обмежується робочою зміною. Типи СРК визначаються на основі матриці $w_F = \|w_{Fki}\|$ розміру $(K_{СРК} \times I)$, елементи w_{Fki} якої характеризують ступінь взаємного перекриття діапазонів робочих частот СРК k -го типу ($k=1, 2, \dots, K_{СРК}$) і РЕЗ i -ої радіотехнології. Матриця w_F визначається для кожної РП РЧМ, оскільки в різних філіях використовуються різні типи СРК і РЕЗ різних радіотехнологій. В результаті формується матриця $w_F = \|w_{Flk}\|$, де $l = 1, 2, \dots, L$ - номер РП РЧМ. Значення елементів матриці, змінюються від 0 при повній розбіжності смуг частот СРК і РЕЗ до 1 при повному їх перекритті [3]. На основі вихідних даних РП РЧМ і річного фонду робочого часу розраховуються: виробниче навантаження; середня продуктивність і контроль завантаженості смуг частот; кількість СРК. Продуктивність стаціонарних і мобільних СРК k -го типу задається у вигляді матриць розміром $(K_{СРК} \times I)$, елементи

яких $\Pi_{P\text{ЭС}ki}$ і $\Pi_{ПЧki}$ розраховуються, виходячи з технічних характеристик типів СРК і особливостей їх застосування. Кількість СРК відображається у вигляді матриці розміром $((K_{\text{СРК}} \times L))$, де L - число РП РЧМ, $K_{\text{СРК}}$ - загальне число типів СРК [3].

Згідно з розробленою системою (табл. 3) в якості показників ефективності функціонування СРЧМ при **виконанні першого завдання** в l -ій РП РЧМ в методиці необхідно використовувати показники $w_{PE3 SI}$, $w_{PE3 FI}$, $w_{PE3 TI}$, $l = 1, 2, \dots, L$. Розрахунок показника ефективності $w_{PE3 SI}$ проводиться за формулами:

$$w_{PE3 SI \text{ см}} = \frac{\sum_{k=1}^{K_{\text{СРК см}}} (M_{\text{СРК}1,k} \Pi_{P\text{ЭС}k,j} n_{PE3 \text{ зм}k})}{N_{PE3 \text{ см}l}} ; w_{PE3 SI \text{ моб}} = \frac{\sum_{j=1}^4 [\sum_{k=K_{\text{СРК см}}+1}^{K_{\text{СРК}}} (M_{\text{СРК}1,k} \Pi_{PE3 k,j} n_{PE3 \text{ зм}k})]}{\sum_{j=1}^4 N_{PE3 \text{ моб}l,j}}, \quad (3.1)$$

де $M_{\text{СРК}1,k}$ - кількість СРК k -го типу; $\Pi_{PE3 k,j}$ - продуктивність СРК k -го типу з контролю РЕЗ j -ої групи радіотехнологій за зміну; $n_{PE3 \text{ см}k}$ - кількість змін роботи СРК k -го типу з контролю РЕЗ за квартал; $N_{PE3 \text{ см}l}$ - кількість РЕЗ проконтрольованих стаціонарної складової РП РЧМ; $N_{PE3 \text{ моб}l,j}$ - кількість проконтрольованих мобільного складовою РЕЗ, що відносяться до j -ої групи радіотехнологій.

Вибір значення показника ефективності $w_{PE3 FI}$ проводиться шляхом порівняння зважених значень нижньої ($F_{\text{СРК},k}^n$) і верхньої ($F_{\text{СРК},k}^6$) меж частотного діапазону СРК k -го типу з зваженими значеннями нижньої ($F_{PE3,i}^n$) і верхньої ($F_{PE3,i}^6$) меж частотних діапазонів, зареєстрованих РЕЗ j -ої радіотехнології, які обчислюються однаково як для мобільної так і стаціонарної складової. Розрахунок показника ефективності $w_{PE3 TI}$ здійснюється, виходячи з числа і типів СРК, задіяних для вирішення даного завдання і коефіцієнта змінності їх роботи. Виходячи з кількості робочих днів, кількість змін роботи СРК за квартал може змінюватися в залежності від режиму роботи.

В якості показників ефективності функціонування РП РЧМ при оцінюванні **контролю зайнятості смуг частот** в методиці використовуються показники ефективності $w_{C\text{Ч} SI}$, $w_{C\text{Ч} FI}$ і $w_{C\text{Ч} TI}$. Показник ефективності $w_{C\text{Ч} SI}$ оцінюється окремо для стаціонарної $S_{\text{СРК см}l}$ та мобільної $S_{\text{СРК моб}l}$ складової і для кожної з РП РЧМ як відношення сумарної площі зон ЕМД стаціонарних та мобільних СРК l -го регіону до подвоєної площі S_l регіону, на якій розміщені РЕЗ. Оцінювання показника ефективності $w_{C\text{Ч} FI}$ здійснюється, виходячи з кількості планових і позапланових завдань з контролю зайнятості смуг частот, кількості задіяних СРК, їх продуктивності за зміну і кількості змін роботи СРК за квартал при вирішенні даного завдання. Кількість планових завдань визначається по кожній з чотирьох груп радіотехнологій окремо для стаціонарних і мобільних СРК. Оцінювання коефіцієнта $w_{C\text{Ч} FI}$ здійснюється за виразами:

$$W_{CЧ Fl cm} = \frac{\sum_{k=1}^{K_{CPK cm}} (M_{CPK l, k} \Pi_{CЧ k, l} n_{CЧ зм k})}{N_{CЧ l, l}^{план} + N_{CЧ l}^{впл}} ; W_{CЧ Fl моб} = \frac{\sum_{j=1}^4 [\sum_{k=K_{CPK cm} + 1}^{K_{CPK}} (M_{CPK l, k} \Pi_{CЧ k, j} n_{CЧ зм k})]}{\sum_{j=1}^4 N_{CЧ моб l, j}^{план} + N_{CЧ моб l, j}^{впл}}, \quad (3.2)$$

де $N_{CЧ l}^{план}$, $N_{CЧ l}^{впл}$ - відповідно кількість планових і позапланових завдань з контролю смуг частот; $N_{CЧ моб l, j}^{план}$, $N_{CЧ моб l, j}^{впл}$ - відповідно кількість планових і позапланових смуг частот, що відносяться до j -ої групи радіотехнологій, запланованих для контролю мобільними СРК. Кількість планових завдань по контролю завантаженості смуг частот задається у вигляді матриці розміру $(L \times I)$, елементами якої є кількість $N_{CЧ li}$ смуг частот i -ої радіотехнології, запланованих для контролю. Значення показника ефективності $W_{CЧ TI}$ оцінюється, виходячи з числа СРК, задіяних для вирішення даного завдання, коефіцієнта змінності і кількості змін їх роботи за квартал. Час роботи СРК задається у вигляді вектора (\mathbf{K}_{CPK}), значеннями якого є загальна кількість змін роботи СРК k -го типу ($k = 1, 2, \dots, K_{CPK}$) за квартал.

Ефективність функціонування РП РЧМ при вирішенні **задачі виявлення НДП** характеризується чисельними значеннями показників $W_{НДП SI}$, $W_{НДП Fl}$ і $W_{НДП TI}$ оцінювання яких проводиться на основі гіпотези про те, що кількість НДП в регіоні прямо пропорційно чисельності населення. Так показник $W_{НДП SI}$ оцінюється як відношення сумарної чисельності населення, яке проживає в зонах ЕМД стаціонарних і мобільних СРК, до загальної чисельності населення, що проживає на території контрольованого регіону. Оскільки виявлення НДП відбувається в процесі виконання завдань контролю параметрів випромінювань зареєстрованих РЕЗ та зайнятості смуг частот, то параметр $W_{НДП Fl}$ оцінюється як усереднений показник цих завдань. При оцінюванні показників ефективності в часовій області показник $W_{НДП TI}$ оцінюється як залишок частки часу виявлення одного НДП всією сукупністю СРК до 25% бюджету часу на виконання позапланових завдань:

$$W_{НДП TI} = 1 - \frac{1}{N_{НДП}} \cdot \frac{\sum_K M_{CPK l, k} \cdot (n_{НДП зм})_{l, k}}{0,25 \cdot \sum_K n_{зм, к\& k} \cdot M_{CPK l, k}}, \quad (3.3)$$

де $N_{НДП}$ - кількість виявлених НДП; $M_{CPK l, k}$ - кількість СРК k -го типу в l -му регіоні; $(n_{НДП зм})_{l, k}$ - кількість змін роботи СРК k -го типу в l -му регіоні при виконанні завдання виявлення НДП; $n_{зм, к\& k}$ - загальна кількість змін СРК за квартал.

Ефективність функціонування РП РЧМ при вирішенні **задачі виявлення джерел радіозавод** характеризується чисельними значеннями показників $W_{ДРЗ SI}$, $W_{ДРЗ Fl}$ і $W_{ДРЗ TI}$. Показник ефективності охоплення по простору прийнятий за $W_{ДРЗ SI} = 1$, бо завод може з'явитися в будь-якому місці території. Показники

ефективності охоплення по частоті оцінюється як відношення кількості виявлених ДРЗ мобільними і стаціонарними СРК до загальної кількості заявлених ДРЗ. Загальний показник ефективності охоплення по частоті при виконанні даного завдання оцінюється як усереднений показник. Показник ефективності охоплення в часовій області $w_{ДРЗ\ Tl}$ оцінюється як залишок частки часу на виявлення однієї завади всією сукупністю СРК до нормативного часу 25 днів:

$$w_{ДРЗ\ cm/моб\ Tl} = 1 - \frac{1}{25} \cdot \frac{\sum_K M_{СРК\ l,k} \cdot (n_{ДРЗ\ зм})_{l,k}}{N_{ДРЗ\ cm/моб\ l}^{заяв.}}, \quad (3.4)$$

де $N_{ДРЗ\ cm/моб\ l}^{заяв.}$ - загальна кількість заявлених ДРЗ за квартал в l-му регіоні.

В розділі наведено удосконалену методику оцінювання показників продуктивності, виробничої потужності і ефективності роботи СРК, що дозволило провести порівняльний аналіз можливостей усіх типів СРК по ефективності вирішення кожного завдання і радіомоніторингу РЕЗ кожної групи радіотехнологій в РП РЧМ за плановий період та розробити напрями вдосконалення структури РП РЧМ. На основі результатів ведення радіомоніторингу СРК проводиться оцінювання інтегральних показників ефективності контролю стану використання радіочастотного ресурсу в РП РЧМ по z-ій задачі [1-4]:

$$W_{zl} = w_{z\ Sl} \cdot w_{z\ Fl} \cdot w_{z\ Tl}, \quad (3.5)$$

для стаціонарної та мобільної складової РП РЧМ:

$$W_{z\ cm\ l} = w_{z\ cm\ Sl} \cdot w_{z\ cm\ Fl} \cdot w_{z\ cm\ Tl}, \quad W_{z\ моб\ l} = w_{z\ моб\ Sl} \cdot w_{z\ моб\ Fl} \cdot w_{z\ моб\ Tl}. \quad (3.6)$$

Далі оцінюються показники W_l , $W_{cm\ l}$, $W_{моб\ l}$ що характеризують ефективність контролю стану використання регіонального РЧР в РП РЧМ:

$$W_l = \sum_{z=1}^Z (p_z \cdot W_{zl}), \quad W_{cm\ l} = \sum_{z=1}^Z (p_z \cdot W_{z\ cm\ l}), \quad W_{моб\ l} = \sum_{z=1}^Z (p_z \cdot W_{z\ моб\ l}). \quad (3.7)$$

В якості інтегральних показників оцінювання ефективності функціонування національних СРЧМ приймаються показники $W_{СРЧМ\ z}$, $W_{СРЧМ\ z\ cm}$, $W_{СРЧМ\ z\ моб}$, які відображають ефективність роботи національної СРЧМ при виконанні z-ої задачі:

$$W_{СРЧМ\ z} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L W_{zl}, \quad W_{СРЧМ\ z\ cm} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L W_{z\ cm\ l}, \quad W_{СРЧМ\ z\ моб} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L W_{z\ моб\ l}. \quad (3.8)$$

Оцінювання ефективності контролю використання РЧР системою РЧМ в цілому по сукупності завдань РЧМ проводиться за допомогою показників:

$$W_{СРЧМ} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L W_l, \quad W_{СРЧМ\ cm} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L W_{cm\ l}, \quad W_{СРЧМ\ моб} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L W_{моб\ l}. \quad (3.9)$$

На основі розробленого науково-методичного апарату [1-4] в роботі надаються також розраховані виробничі показники ефективності функціонування усіх РП РЧМ і СРЧМ.

У четвертому розділі наводяться описи інтерфейсів ПЗ, БД, що були створені для практичної реалізації запропонованих методик, результатів розрахунку ефективності функціонування РП РЧМ усіх філій УДЦР та їх аналіз. Структурна схема ІРС і головне меню ПЗ представлені на рис. 2, а вигляд основних розрахунків та результатів у графічному і табличному форматах наведено на рис. 3-4.

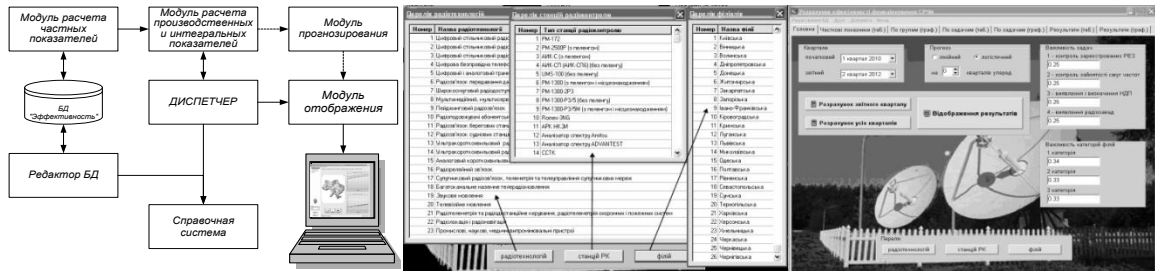


Рис. 2 - Загальна структурна схема ІРС та робочі інтерфейси

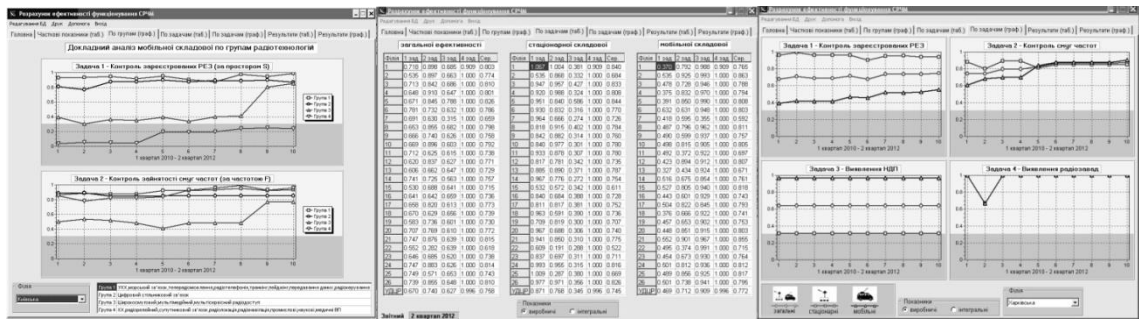


Рис. 3 - Результати розрахунку окремих показників ефективності

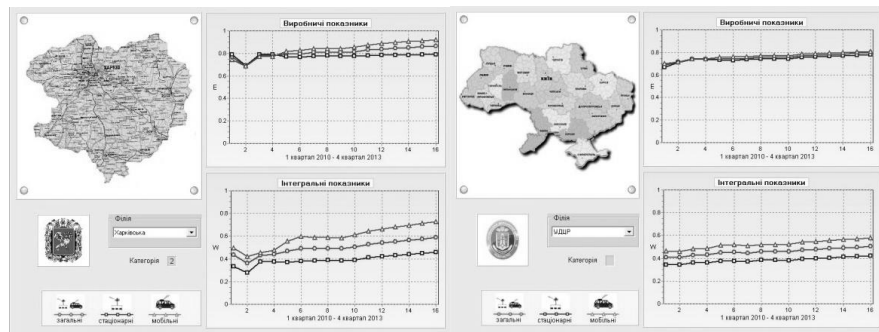


Рис. 4 - Результати розрахунку показників ефективності функціонування Київської РП РЧМ і СРЧМ без урахування просторово-частотно-часового підходу та з його урахуванням на регіональному та національному рівнях

Вихідні дані для проведення розрахунків вводяться за допомогою редактора БД, яка керується сучасною об'єктно-реляційною СУБД PostgreSQL. Автоматизований розрахунок всіх показників ефективності функціонування СРЧМ за кожен РП РЧМ в звітному кварталі, а також результати розрахунків показників ефективності за всі звітні квартали також зберігаються в БД.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена актуальна науково-технічна задача розробки науково-методичного апарату оцінювання ефективності функціонування РП РЧМ і СРК, що базується на запропонованому системно-методологічному підході, який включає системний аналіз складних ієрархічних систем і просторово-частотно-часовий метод оцінювання ефективності радіомоніторингу виділеного РЧР

1. У відповідності з Рекомендаціями Міжнародного союзу електрозв'язку визначені конкретні групи завдань служби РЧМ. Розглянута необхідність об'єднання ресурсів у вигляді сукупності взаємодіючих технічних і програмних засобів в СРЧМ, яка повинна забезпечувати отримання об'єктивної інформації про стан ЕМО і стан використання РЧР держави. Аналіз принципів побудови, організаційної структури, виконуваних функцій, розв'язуваних задач і технічного оснащення створеної СРЧМ України дозволив представити її у вигляді трирівневої ієрархічної структури з зонально-об'єктовим способом охоплення радіовипромінювань РЕЗ. Визнано за доцільне використання при проведенні РЧМ і оцінюванні його ефективності запропонованої спеціалістами ДП «УДЦР» класифікації радіотехнологій на чотири групи з однаковими методами контролю.

2. **Запропоновано для розробки науково-методичного апарату використовувати системно-методологічний підхід, заснований на комплексному використанні системного підходу і SFT підходу.** Це дозволило вирішити науково-технічну задачу дисертаційного дослідження: розробки науково-методичного апарату оцінювання ефективності функціонування РП РЧМ і СРК, що базується на запропонованому системно-методологічному підході і **дозволяє, на відміну від відомих**, провести виробниче та інтегральне техніко-виробниче оцінювання ефективності їхньої роботи в SFT області. Використання даного методу дозволило визначити міру РЧМ у вигляді контрольованого SFT простору існування РЧР та головну мету функціонування СРЧМ у вигляді функції цілепокладання контрольованого і виділеного SFT просторів.

3. Для обґрунтованої моделі національної СРЧМ визначено і побудовано «дерево» цілей, підцілей та операцій. Для кількісної оцінки результату операції запропоновано **узагальнений показник у вигляді вектора, компоненти якого є показники окремих результатів, що відбивають результативність, ресурсомісткість і оперативність.** На основі SFT методу розроблена комплексна система техніко-виробничих показників і критеріїв, що включає системи імовірнісних та детермінованих груп показників. Система імовірнісних показників призначена для якісної оцінки потенційної ефективності РЧМ і прогнозу розвитку СРЧМ на наступні періоди, а також дозволяє оцінити роботу СРК і пред'явити вимоги до їх модернізації. Детермінована система показників дозволяє оцінювати РЧМ з метою отримання даних, необхідних для управління використанням РЧР на всіх рівнях організаційної структури.

4. **Розроблена методика містить систему і порядок розрахунку узагальнених техніко-виробничих показників ефективності радіомоніторингу РП РЧМ і СРЧМ в цілому.** Вони дозволяють провести оцінювання ефективності ведення РЧМ в SFT області з урахуванням специфіки функціонування всіх рівнів

СРЧМ. Детальний аналіз різних рівнів системи відображає внесок кожної зі складових у сумарну ефективність ведення РЧМ. Методика в частині оцінювання техніко-виробничої ефективності різнотипних СРК з комплексного виконання РЧМ забезпечує оцінювання продуктивності, виробничої потужності, ефективності роботи і використання кожного СРК по кожній задачі і класу радіотехнологій та в підсумку дозволяє оптимізувати кількісно-якісний склад парку СРК і підвищити ефективність планування і ведення процесу РЧМ.

5. На основі розроблених методики та алгоритмів в розділах 3 і 4 наводяться розроблені функціональне ПЗ та БД для автоматизації процедури розрахунку інтегральних техніко-виробничих і часткових виробничих показників ефективності ведення РЧМ в РП РЧМ і СРЧМ в цілому, їх стаціонарних та мобільних СРК за заданий період часу і прогнозування їх на майбутні періоди. Розроблено редактор БД, для підвищення оперативності внесення вихідних даних до ПЗ для прискорення проведення розрахунків при внесенні наступних з'єднань періодів оцінюванні ефективності функціонування РП РЧМ і СРЧМ в цілому.

6. Проведено розрахунки 26 РП РЧМ, що входили до складу СРЧМ України до 2014 року, та 9 РП РЧМ, що увійшли до оновленої укрупненої структури. **Результати розрахунку виробничих і інтегральних показників свідчить високу ефективність виконання завдань покладених на РП РЧМ.** Порівняння результатів розрахунку виробничих показників першого кварталу 2010 року і другого кварталу 2012 року показало, що зростання ефективності функціонування СРЧМ за звітний період становить понад 7%. Виробничі показники мобільної складової виросли на 7,3%, а стаціонарної - на 7,4%. Інтегральні показники в цілому за СРЧМ виросли на 4,9%. Ефективність мобільної складової зросла на 6,2%, стаціонарної - на 3,8%.

7. Проведена перевірки адекватності розробленого науково-методичного апарату оцінювання ефективності функціонування РП РЧМ і можливості його адаптації до інших національних СРЧМ на прикладі СРЧМ України загальних користувачів до і після її реорганізації. Порівняльний аналіз отриманих різними способами результатів показав, що показники ефективності відрізняються на 2.5-3% і знаходяться в межах статистичної похибки.

Таким чином, **розроблений науково-методичний апарат оцінювання ефективності РП РЧМ і процесу ведення радіомоніторингу є адаптивним до зміни структури національних СРЧМ та дозволяє не тільки проводити оцінювання ефективності, а і відпрацьовувати рекомендації з заходів по їх удосконаленню та оптимізації.**

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Калюжный Н.М. Системная методология оценивания эффективности функционирования национальных систем радиочастотного мониторинга на основе пространственно-частотно-временного подхода / Н.М. Калюжный, И.М. Николаев, В.А. Ковшарь // Прикладная радиоэлектроника- 2013, - Т.12, - № 3, - С. 375-386.
2. Калюжный Н.М. Методика оценивания эффективности функционирования системы мониторинга общих пользователей радиочастотного ресурса на основе пространственно-частотно-временного подхода. Часть 1 / Н.М. Калюжный, А.М. Попов, В.А. Ковшарь //Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. –2013, №172, - С. 160-169.
3. Калюжный Н.М. Методика оценивания эффективности функционирования системы мониторинга общих пользователей радиочастотного ресурса на основе пространственно-частотно-временного подхода. Часть 2/ Н.М. Калюжный, А.М. Попов, В.А. Ковшарь //Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.–2013, - №173, - С. 101-109.
4. Калюжный Н.М. Методический подход к оценке эффективности работы средств радиоконтроля по комплексному решению задач радиочастотного мониторинга/ Н.М. Калюжный, О.І. Задонський, В.О. Ковшар // Системи озброєння і військова техніка. Науковий журнал –Х: Харківський Університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, - 2015, - Вип. 2(42), - С. 99-105.
5. Калюжный Н.М. Информационно-расчетная система и результаты оценивания эффективности функционирования системы радиочастотного мониторинга в полосах частот общего пользования / Н.М. Калюжный, А.М. Попов, В.А. Ковшарь // Системы обработки информации. Науковий журнал. –Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, - 2016, - Вип. 3(140), - С. 57-63.
6. Kalyuzhny N.M. Methodical Approach to Estimation of Effectiveness of the Radio Frequency Monitoring System / N.M. Kalyuzhny, A.I. Zadonskiy, V.A. Kovshar // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2018. - Volume 7 Issue 3, - P. 899 – 905. DOI: 10.21275/ART2018659.
7. Yu Zheng. Multi-Criteria Selection of the Preferred Protocol of Routing in Ad-Hoc Networks by Hierarchies Analysis Method / Yu Zheng, V. Semenets, V. Bezruk, V. Kovshar, Guo Qiang // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2019. - Volume 8, Issue 11,- P. 159-162. DOI: 10.21275/ART20202327.
8. Калюжный Н.М. Методика и результаты оценки пространственно-частотно-временных показателей эффективности функционирования системы радиочастотного мониторинга / Н.М. Калюжный, И.М. Николаев, А.М. Попов, В.А. Ковшар, А.И. Задонский, В.Г. Благодарный // 4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». - Украина, Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 18-21 октября 2011,- Том I, Ч. 2, - С. 213-218.
9. Николаев И.М. Постановка и алгоритм решения задачи оценки эффективности региональной системы радиомониторинга / И.М. Николаев, А.И. Задонский, В.А. Ковшарь //Шоста наукова конференція «Новітні технології - для захисту повітряного простору» -Україна, Харків, ХУПС ім. І. Кожедуба,14-15 квітня 2010, - С. 187.
10. Калюжный Н.М. Автоматизация процессов и результаты анализа соответствия распределения полос радиочастот в Украине и Европейском Союзе /

А.М.Попов, С.А.Галкин, В.А.Ковшарь //Шоста наукова конференція «Новітні технології - для захисту повітряного простору», - Україна, Харків, ХУПС ім. І. Кожедуба, 14-15 квітня 2010,- С. 186.

11. Калюжный Н.М. Методика и результаты оценки пространственно-частотно-временных показателей эффективности функционирования системы радиочастотного мониторинга по решению основных задач / Н.М. Калюжный, Галкин С.А., Попов А.М., Ковшар В.А. // XVIII международная научно-техническая конференция «РАДИОЛОКАЦИЯ НАВИГАЦИЯ СВЯЗЬ»- Российская Федерация, Воронеж, - 2013, - Т.3, - С. 1892-1903.

12. Калюжный Н.М. Разработка показателей эффективности функционирования региональных подсистем радиочастотного мониторинга по оценке реального состояния использования радиочастотного ресурса / Н.М. Калюжный, А.И. Задонский, В.А. Ковшарь // Сьома наукова конференція «Новітні технології - для захисту повітряного простору»- Україна, Харків, ХУПС ім. І. Кожедуба, 13-14 квітня 2011, - С. 232-233.

13. Калюжный Н.М. Техничко-экономические показатели эффективности функционирования региональной системы радиочастотного мониторинга / Н.М. Калюжный, А.И. Задонский, В.А. Ковшар, А.С. Бутченко // Сьома наукова конференція «Новітні технології - для захисту повітряного простору»- Україна, Харків, ХУПС ім. І. Кожедуба, 13-14 квітня 2011, - С. 233-234.

14. Ковшарь В.А. Оценивание показателей производственной мощности стационарных, мобильных и портативных средств технического радиоконтроля // 15-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»- Україна, Харьков, ХНУРЭ, 10-12 апреля 2011, - Т3, - С.187-188.

15. Калюжный Н.М. Методический аппарат и программный комплекс оценивания эффективности функционирования системы радиочастотного мониторинга» / Н.М. Калюжный, А.М. Попов., В.А. Ковшар. //Восьма наукова конференція «Новітні технології - для захисту повітряного простору» - Україна,Харків, ХУПС ім. І. Кожедуба,18-19 квітня 2012 року, С. 242-243.

16. Ковшарь В.А. Методика и алгоритм построения зон радиодоступности станций радиоконтроля // 16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». - Украина, Харьков, ХНУРЭ, 17-19 апреля 2012,- Т. 3, - С. 177-178.

17. Калюжный Н.М. Оценивание эффективности работы разнотипных средств радиоконтроля при решении основных задач радиочастотного мониторинга / Н.М. Калюжный, В.А. Ковшар, А.И. Задонский, Н.Н. Скринник // V-й Международный Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» - Украина, Харьков, 14-17 октября 2014. - Т.1, - С. 274-277.

18. Калюжный Н.М. Способ и алгоритм оценивания зон электромагнитной доступности и совместимости широкодиапазонных средств радиоконтроля /Ковшар В.А., Коржуков К.Н., Галкин С.А. // V-й Международный Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» - Украина, Харьков, 14-17 октября 2014, - Т.1, - С. 265-269.

19. Калюжный Н.М. Результаты оценивания эффективности функционирования региональных подсистем радиочастотного мониторинга Украины / Н.М. Калюжный , А.И. Задонский, В.И. Колесник, В.А. Ковшарь // Дев'ята наукова конференція «Новітні технології - для захисту повітряного

простору», - Україна, Харків, ХУПС ім. І. Кожедуба, 17-18 квітня 2013, - С. 362

20. Калюжний Н.М. Оценивание эффективности работы разнотипных средств радиоконтроля по ведению радиочастотного мониторинга / Н.М. Калюжний А.И. Задонский, В.А. Ковшарь // Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» - Украина, Харьков, ХНУРЭ, 27 мая 2015 г., - С. 74-77.

21. Kalyuzhnyi N.M. Ways of calculating the electromagnetic field intensity for assessment of electromagnetic compatibility of radio-monitoring stations / Kalyuzhnyi N.M., Chernov A.B. Semenov G.V. Galkin S.A. Kovshar V.A. // X Anniversary international conference on antenna theory and techniques (ICATT-2015) - Ukraine, Kharkiv, 21-24 April 2015, - P. 111-113.

22. Сенников В.Ю. Результаты создания информационного базиса спектральных масок передатчиков РЭС для автоматизации процесса радиомониторинга / В.Ю. Сенников, В.А. Ковшарь, М.В. Солнышков // 20-й Юбилейный Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Украина, Харьков, ХНУРЭ, 19-21 апреля 2016, - С. 12-13.

23. Ковшар В.А. Информационно-расчетная система «Радиомониторинг-М» / В.А. Ковшар, А.В. Хряпкин // Выставка технического творчества молодежи 19-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». Каталог выставки технического творчества молодежи. - Украина, Харьков, ХНУРЭ, 12 апреля 2015, - С.20-22.

24. Калюжний Н.М. Сравнительный анализ методик расчета распространения радиоволн для практической реализации оценки электромагнитной совместимости / Н.М. Калюжний, А.Б. Чернов, А.В. Хряпкин, В.А. Ковшарь // «Проблемы ЕМС перспективных беспроводных сетей связи» - Украина, Харків, ХНУРЭ, 21-22 травня 2019, - С. 1-3.

25. Калюжний М.М. Комп'ютерна програма «Інформаційно-розрахункова система оцінювання та прогнозування показників ефективності функціонування при виконанні системою радіочастотного моніторингу України своїх основних завдань» / М.М. Калюжний, В.І. Колісник, О.І. Задонський, В.О. Ковшар, І.М. Ніколаєв, // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 53955 від 05.03.2014.

26. Калюжний М.М. Комп'ютерна програма «Інформаційно-розрахункова система моделювання і оцінювання можливостей систем радіочастотного моніторингу по територіально-частотному охопту радіоконтролем РЕЗ» / М.М. Калюжний, О.І. Задонський, В.І. Колісник, В.О. Ковшар, О.В. Хряпкін, С.О. Галкін, К.М. Коржуков // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 66935 від 29.07.2016.

27. Калюжний М.М. Комп'ютерна програма «Інформаційно-розрахункова система територіально-частотно-апаратного планування і оптимізації функціональної структури систем радіочастотного моніторингу радіочастотного ресурсу» / М.М. Калюжний, О.І. Задонський, В.І. Колісник, В.О. Ковшар, О.В. Хряпкін, С.О. Галкін, К.М. Коржуков // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 70086 від 26.01.2017.

28. Калюжний М.М. Спосіб імітаційного статистичного моделювання системи розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів // М.М. Калюжний, І.М. Ніколаєв, О.В. Хряпкін, В.М. Безрук, С.О. Галкін, О.І. Задонський, В.О. Ковшар. Патент на корисну модель №135543 від 10.07.2019.

АНОТАЦІЯ

Ковшар В.О. Оцінювання ефективності функціонування регіональних підсистем радіомоніторингу з контролю використання радіочастотного ресурсу. - Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню задачі розробки науково-методичного апарату оцінювання ефективності регіональних підсистем радіочастотного моніторингу з єдиною системою показників та критеріїв і програмно-алгоритмічного забезпечення для проведення автоматизованих розрахунків з метою підвищення ефективності робіт, пов'язаних з радіочастотним моніторингом та електромагнітною сумісністю РЕЗ. В роботі обґрунтовуються специфіка і показники оцінювання ефективності різнотипних станцій радіоконтролю по комплексному виконанню основних завдань РЧМ і проводиться аналіз отриманих результатів для розроблення рекомендацій. Розроблені науково-методичний апарат і програмно-алгоритмічне забезпечення реалізовані, впроваджені і використовуються у виробничому процесі на Державному підприємстві «Український державний центр радіочастот», що підтверджено відповідними актами.

Ключові слова: система, радіочастотний моніторинг, радіочастотний ресурс, ефективність, інформаційно-розрахункова система, станції радіоконтролю.

АНОТАЦІЯ

Ковшарь В.А. Оценка эффективности функционирования региональных подсистем радиомониторинга по контролю использования радиочастотного ресурса. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 - радиотехнические и телевизионные системы. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена решению задачи разработки научно-методического аппарата оценки эффективности региональных подсистем радиочастотного мониторинга с единой системой показателей и критериев и программно-алгоритмического обеспечения для проведения автоматизированных расчетов с целью повышения эффективности работ, связанных с радиочастотным мониторингом и электромагнитной совместимостью РЭС. В работе обосновываются специфика и показатели оценки эффективности разнотипных станций радиоконтроля по комплексному выполнению основных задач РЧМ и проводится анализ полученных результатов для разработки рекомендаций. Разработанные научно-методический аппарат и программно-алгоритмическое обеспечение реализованы, внедрены и используются в производственном процессе на Государственном предприятии «Украинский государственный центр радиочастот», что подтверждено соответствующими актами.

Ключевые слова: система, радиочастотный мониторинг, радиочастотный ресурс, эффективность, информационно-расчетная система, станции радиоконтроля.

ABSTRACT

Kovshar V.O. Assessment of the effectiveness of the operation of regional radio monitoring subsystems to control use of the radio frequency resource. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Science Degree in Specialty 05.12.17 - Radio and Television Systems. Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkov, 2021.

The dissertation is dedicated to solving the urgent scientific and applied problem of increasing the functioning efficiency of regional subsystems of radio-frequency monitoring (RS RFM) in order to increase efficiency in terms of performing work related to radio-frequency monitoring (RFM) and electromagnetic compatibility of electronic equipment by developing a scientific and methodological apparatus for evaluating effectiveness, a system of indicators and criteria for evaluating them, programmatically-algorithmic support for automated calculations. At the same time, the dissertation substantiates the specificity and indicators of evaluating the performance of different types of radio monitoring stations for the integrated implementation of the basic tasks of radio monitoring to optimize their quantitative and qualitative composition in regional radio frequency monitoring subsystems, and also analyzes the results to develop recommendations aimed at developing and modernizing the current state of regional subsystems and radio frequency monitoring systems in general. Information and analytical studies were carried out on the principles of construction, structure, functions, tasks to be solved, technical equipment and radio monitoring facilities of the national RFMs (SRFM) of Ukraine and other countries, on the basis of which the task of assessing the effectiveness of radio monitoring by subsystems and RFM tools was formulated. For the first time, a scientific and methodological apparatus has been created for assessing the technical and industrial (integral) efficiency of the operation of the RFMS for radio monitoring of the actual use of the radio frequency resource (RFR), including an improved system-methodological approach, a space-time-frequency method for covering radio-electronic devices (RED) with radio-frequency monitoring, and methods calculation with a uniform system of indicators and criteria of effectiveness, procedures for calculating and forecast performance at the three levels of the SRFM hierarchy. To implement the automation procedure, software and algorithmic support has been developed for calculating the integrated technical and production and individual production indicators of the effectiveness of radio-frequency monitoring of radio monitoring stations (RMS), RS RFM and SRFM in general, their stationary and mobile components for a given period of time and forecasting them for future periods. Based on the initial data on the actual characteristics of the RS RFM and RMS determined by the method, the above performance indicators were calculated for all RS RFMs, the analysis of which revealed the strengths and weaknesses of radio-frequency monitoring of each RS RFM in monitoring each group of radio technologies and solving each RFM task. The proposed methodology and software and algorithmic support are implemented in the production process and tested at the State Enterprise "Ukrainian State Center of Radio Frequencies".

Keywords: system, radio frequency monitoring, radio frequency resource, efficiency, information and calculation system, radio control facilities.

Підписано до друку 21.01.2021 р. Формат 60×84_{1/16}.
Умов. друк. арк. 1,4. Папір офсетний. Наклад 100 прим.

КП «Міська друкарня»
м. Харків, 61002, вул. Алчевських, 44.
Свідоцтво про державну реєстрацію
серія ДК, № 5495, від 22.08.2017 р.