

# СИСТЕМНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ПОДХОДА

*Н.М. КАЛЮЖНЫЙ, И.М. НИКОЛАЕВ, В.А. КОВШАРЬ*

Излагается методология оценки эффективности функционирования национальных систем радиочастотного мониторинга (СРЧМ), базирующаяся на системном анализе сложных систем и предложенном пространственно-частотно-временном подходе к оценке эффективности радиомониторинга использования функционирующими радиоэлектронными средствами (РЭС) выделенного радиочастотного ресурса (РЧР). Обосновываются иерархическая структура построения и функционирования национальных СРЧМ, а также целевые функции СРЧМ, региональных подсистем и их элементов. Определяются и обосновываются показатели и критерии эффективности функционирования СРЧМ. Предлагается обобщенное математическое описание этих показателей в виде степенной функции. Приводится научно-методический аппарат аналитической оценки качественных и количественных показателей эффективности функционирования СРЧМ при выполнении основных заданий радиомониторинга с учетом степени охвата контролируемых РЭС по территории, частоте и времени.

*Ключевые слова:* методология, система, радиочастотный мониторинг, радиочастотный ресурс, эффективность, показатели эффективности.

## ВВЕДЕНИЕ

**Постановка проблемы.** Развитие рыночных отношений ведет к увеличению числа радиоэлектронных средств, используемых в сфере современных телекоммуникационных технологий, что, в свою очередь, значительно усложняет электромагнитную обстановку, приводит к дефициту свободного радиочастотного спектра и требует совершенствования систем радиочастотного мониторинга, используемых для контроля и повышения эффективности использования радиочастотного ресурса. Решение задач радиочастотного мониторинга обеспечивается специально создаваемыми СРЧМ, эффективность функционирования которых оказывает непосредственное влияние на показатели работы систем управления использованием РЧР.

В настоящее время национальные СРЧМ представляют собой сложные системы, включающие в свой состав большое количество разнообразных средств радиоконтроля, сбора, анализа, обработки, передачи и отображения информации. Для повышения эффективности управления использованием РЧР в экономически развитых странах в связи с ростом числа РЭС проводятся организационные (изменение структуры системы и связей между ее элементами) и технические (установка нового и замена существующего оборудования) мероприятия по дальнейшему развитию (совершенствованию) национальных СРЧМ [1, 2]. Эти мероприятия, как правило, связаны с существенными материальными и временными затратами. Поэтому возникает необходимость обоснования их целесообразности и выбора тех из них, которые обеспечат наилучший полезный эффект при заданных ресурсных ограничениях. Критерием эффективности меро-

приятий по совершенствованию СРЧМ является сопоставление их реальных возможностей с требуемым или потенциальным значением.

При реализации мероприятий по совершенствованию СРЧМ следует учитывать, что функционирование любой такой системы представляет собой сложный процесс, основанный на принципах структурной и функциональной целостности, относительной автономности элементов и функций, а также принципа активности систем. Каждая СРЧМ в процессе функционирования выступает как целостное образование, в котором между ее структурой и функциями существует взаимосвязь и взаимообусловленность. Поэтому оценивание эффективности функционирования любой национальной СРЧМ представляет сложную, многокритериальную и одновременно проблемную задачу, требующую учета многих факторов. Основными из этих факторов являются требуемые объем и качество радиомониторинга, финансовые и временные затраты, географические особенности региона, характеристики и плотность распределения РЭС по территории региона, возможности существующей аппаратуры радиомониторинга и др. Оценивание эффективности функционирования СРЧМ, как материально-технической основы регулирования использования РЧР, должна вестись в единстве с процессом формирования требований к региональным подсистемам и в общей методологической схеме определения того, какой должна быть национальная СРЧМ в целом, какие подсистемы и с каким их техническим оснащением должны составлять ее основу.

**Анализ литературы.** Проведенный анализ показал, что в известной научно-технической литературе практически отсутствует постановка за-

дачи оценивания эффективности национальных систем радиочастотного мониторинга как сложных технических систем и методологический подход к ее решению [1, 2]. В связи с этим проблема разработки методологии и научно-методического аппарата оценивания эффективности функционирования национальных систем радиочастотного мониторинга является актуальной.

**Целью статьи** является разработка методологии и обоснование системы показателей оценки эффективности функционирования национальных СРЧМ, их региональных подсистем и средств в конкретных условиях электромагнитной обстановки, формируемой совокупностями РЭС общего пользования в регионах страны.

**Основная часть.** Методология оценки эффективности функционирования национальной СРЧМ должна строиться на основе совокупности принципов, методов, моделей и методик, позволяющих трансформировать цели государства в сфере использования РЧР в количественно-качественные характеристики и параметры системы. Системную (методологическую) основу оценки эффективности функционирования национальных СРЧМ должен составлять системный подход, в соответствии с которым любая сложная система должна рассматриваться в качестве относительно самостоятельного объекта исследования с присущими ему особенностями функционирования и развития.

**Системный подход** к оценке эффективности функционирования национальной СРЧМ предполагает [3, 4]:

- определение главной цели функционирования системы;
- осуществление декомпозиции (построение «дерева») целей и операций до уровня элементарных, требующих для их выполнения конкретных средств;
- обоснование количественных показателей эффективности;
- выбор критериев эффективности;
- определение оптимальных потребностей в силах и средствах, которые были бы в состоянии выполнить все задачи с эффективностью, не ниже требуемой.

Цель функционирования системы определяет способы и формы действий, их характер и системную упорядоченность, а также средства достижения и выступает как определенный механизм интеграции различных действий в систему «цель – средство – результат». Цель функционирования СРЧМ тесно связана с понятиями «радиочастотный мониторинг» и «система радиочастотного мониторинга», в связи с чем возникает необходимость в уточнении данных понятий.

По мнению авторов **радиочастотный мониторинг** – это комплекс согласованных по замыслу, задачам, месту и времени организационных и технических мероприятий по сбору, обра-

ботке, анализу, обобщению, хранению и отображению данных о параметрах излучаемых сигналов и характеристиках контролируемых РЭС для оценки реального состояния использования РЧР и поддержки принятия управленческих решений в сфере его регулирования.

Данное определение обобщает известные определения понятия «радиочастотный мониторинг» с учетом его целевой и операционной направленности [14].

Под **системой радиочастотного мониторинга** будем понимать совокупность распределенных на местности стационарных и мобильных средств радиомониторинга (СРМ), каналов связи и пунктов управления, средств сбора, обработки, анализа, обобщения и хранения данных о загруженности полос частот, параметрах сигналов и характеристиках излучений РЭС, размещенных в контролируемом районе.

Из этих определений и анализа сущности задач, возлагаемых на СРЧМ [5–13], следует, что главной целью ее функционирования ( $A_{СРЧМ}$ ) является *оценка реального состояния использования РЧР для поддержки принятия управленческих решений в сфере его регулирования (планирования, выделения, присвоения, ЭМС, международной координации)*.

Радиочастотный ресурс, используемый РЭС различного назначения, характеризуется не только полосой выделенных частот, но областью пространства и интервалом времени, в пределах которых разрешено функционирование конкретных типов РЭС. Исходя из этого, для оценивания эффективности функционирования СРЧМ по аналогии с мерой использования спектра, введенной в [13], целесообразно ввести понятие меры степени охвата выделенного РЧР системой радиомониторинга в виде контролируемого пространственно-частотно-временного континуума

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

где  $S^k$  – контролируемое пространство,  $F^k$  – контролируемый частотный диапазон,  $T^k$  – время контроля.

Мера (1) определяет суть **методологического пространственно-частотно-временного подхода** к оценке эффективности функционирования СРЧМ и устанавливает диалектическую связь между используемым РЧР и степенью его охвата радиомониторингом. В соответствии с этим подходом функция целеполагания, характеризующая способность СРЧМ выполнять задачи, соответствующие цели ее функционирования, является функцией выделенного и контролируемого пространственно-частотно-временных континуумов:

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

При фиксированных значениях  $S, F, T$  эта функция может быть представлена в виде:

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

Целеполагание является важнейшей составной частью системного подхода. В объективном смысле под целью понимается то состояние, к которому стремится система, ради чего она существует.

Цель системы представляет собой иерархию простых позиций (подцелей). Поэтому **декомпозиция** главной цели функционирования любой национальной СРЧМ на подцели должна базироваться на анализе её структурно-иерархического построения и основных задач, решаемых на соответствующих уровнях иерархии. Результаты анализа [1, 2, 14] показывают, что национальные СРЧМ для обеспечения решения задач радиочастотного мониторинга в странах с территорией в сотни тысяч кв. км строятся по многоуровневому иерархическому принципу, предусматривающему наличие в их составе:

- центрального пункта управления (ЦПУ) СРЧМ на верхнем уровне;
- региональных подсистем радиочастотного мониторинга (РП РЧМ) на среднем уровне;
- средств радиочастотного мониторинга (СРМ) на нижнем уровне.

Типовая структурная схема СРЧМ представлена на рис. 1 [1].

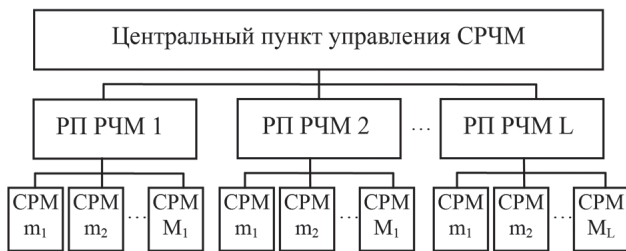


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия элементов СРЧМ

Каждая из региональных подсистем вносит свой вклад в достижение главной цели функционирования всей СРЧМ. Соответственно целью функционирования РП РЧМ ( $A_{РПРЧМ}$ ) является сбор, обработка, анализ, обобщение и сохранение данных о параметрах сигналов и характеристиках излучений РЭС для оценки реального состояния и обеспечения эффективного использования РЧР в пределах регионального пространственно-частотно-временного континуума. Одновременно каждое СРМ вносит свой вклад в оценку реального состояния использования РЧР в определенной пространственно-частотно-временной области (зоне действия).

В пределах заданного пространственно-частотно-временного континуума система, подсистемы и средства решают вполне определенные задачи, которые можно разбить на две группы [14]. Первая группа задач решается на всех уровнях иерархии национальной СРЧМ. К ним относятся задачи сбора, обработки, ана-

лиза, обобщения и хранения информации, необходимой для оценки реального состояния использования выделенного РЧР. Вторая группа задач решается на верхних уровнях системы и включает подготовку данных, предложений и рекомендаций для принятия решений в сфере регулирования РЧР.

Первая группа задач является исходной по отношению ко второй группе и определяет подцели функционирования СРЧМ на всех иерархических уровнях. Анализ этих задач позволяет определить основные подцели функционирования национальных СРЧМ на всех уровнях их иерархии [1, 2]. Смысловое содержание декомпозированных подцелей функционирования СРЧМ Украины, определенное на основе анализа нормативных документов, регламентирующих деятельность государственных органов в сфере радиомониторинга, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Подцели функционирования СРЧМ

| Подцели для уровня |              |            | Наименование подцели   |
|--------------------|--------------|------------|--|
| СРЧМ               | РП РЧМ       | СРМ        |  |
| $A_{СРЧМ1}$        | $A_{РПРЧМ1}$ | $A_{СРМ1}$ | Контроль соответствия параметров излучений зарегистрированных РЭС нормативным документам |
| $A_{СРЧМ2}$        | $A_{РПРЧМ2}$ | $A_{СРМ2}$ | Контроль занятости полос радиочастот   |
| $A_{СРЧМ3}$        | $A_{РПРЧМ3}$ | $A_{СРМ3}$ | Выявление незаконно действующих передатчиков   |
| $A_{СРЧМ4}$        | $A_{РПРЧМ4}$ | $A_{СРМ4}$ | Выявление источников радиопомех работе РЭС   |

Для достижения приведенных подцелей функционирования СРМ на своём уровне иерархии реализуют полностью или частично выполнение элементарных операций (подцелей) [6, 11], представленных в табл. 2.

Таблица 2

Операции выполняемые СРЧМ

| № пп | Наименование операции                                      | Условное обозначение |
|------|--|----------------------|
| 1    | Поиск и обнаружение излучений РЭС по частоте и направлению | $A_{O1}$             |
| 2    | Инструментальное оценивание параметров излучений РЭС       | $A_{O2}$             |
| 3    | Идентификация радиоизлучений РЭС                           | $A_{O3}$             |
| 4    | Идентификация РЭС  | $A_{O4}$             |
| 5    | Наблюдение за радиоизлучениями                             | $A_{O5}$             |
| 6    | Пеленгование РЭС   | $A_{O6}$             |
| 7    | Определение местонахождения РЭС                            | $A_{O7}$             |

Заметим, что в некоторых национальных СРЧМ подцели и операции, реализуемые СРМ,

могут быть объединены или более детализированы. Однако на суть решения задачи декомпозиции главной цели на составляющие подцели это не влияет. Результатом декомпозиции главной цели является определение древовидной структуры целей функционирования СРЧМ на всех уровнях иерархии, представленной на рис. 2.

Для достижения поставленной цели необходима целенаправленная деятельность СРЧМ, которая реализуется в процессе выполнения операции. Под операцией в системном подходе понимается совокупность целенаправленных действий, объединенных общим **замыслом и единой целью**, что и включено в предложенное выше определение радиочастотного мониторинга.

Операция формируется в рамках, которые в качестве основных компонентов содержат орган управления операцией, подсистемы, активные средства и объекты воздействия (контроля). По отношению к СРЧМ цель  $A_{СРЧМ}$  операции выступает основным системообразующим фактором, как способ интеграции различных действий в единую последовательность (принцип целеобусловленности). Кроме того, она позволяет установить единую метрику показателей исхода операции на уровнях органа управления операцией, подсистем, активных средств и объектов контроля.

Эффективное проведение операции СРЧМ обеспечивается совокупностью ее общесистемных, структурных и функциональных свойств.

Остановимся подробнее на рассмотрении менее изученных функциональных свойств. К *функциональным (поведенческим) свойствам* относятся результативность, ресурсоемкость, оперативность, производительность, экономичность, активность, мощность, быстрдействие, точность и другие. Свойства, характеризующие процесс функционирования СРЧМ для достижения главной цели операции, называются операционными свойствами или свойствами операции [3, 4].

Качество исхода операции и алгоритм, обеспечивающий его получение (стратегия), предлагается оценивать следующими основными показателями:

- результативностью  $Q$ , определяющей получаемый целевой эффект (результат) для достижения которого функционирует система;
- ресурсоемкостью  $C$ , характеризующей затраты (ресурсы) всех видов, используемые для получения целевого эффекта;
- оперативностью  $T_o$ , определяющей расход времени, потребный для достижения цели операции.

В совокупности результативность, ресурсоемкость и оперативность порождают комплексное свойство — **эффективность  $R_{эф}$  процесса функционирования СРЧМ — степень его приспособленности к достижению цели, а именно, оценки реального состояния использования РЧР**. Комплексное свойство проявляется при функционировании

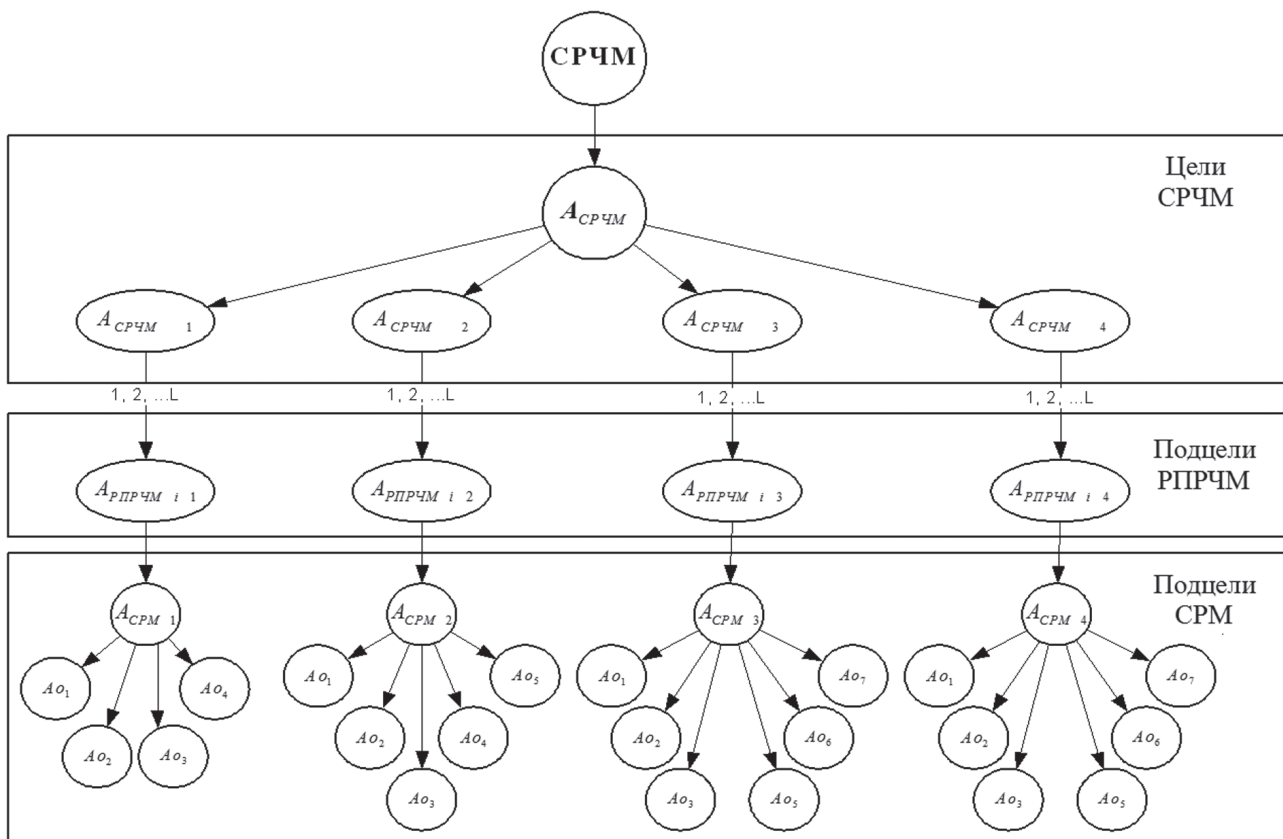


Рис. 2. Соотношения между главной целью функционирования и декомпозированными подцелями на разных уровнях иерархии СРЧМ

СРЧМ и зависит как от свойств операции, так и от свойств внешней среды.

Для количественной оценки исхода операции применительно к СРЧМ введем *обобщенный показатель результата операции* в виде вектора  $R_{эф} = ||R_Q, R_C, R_T||$ , компоненты которого — суть показателей отдельных результатов, отражающие результативность, ресурсоемкость и оперативность операции. Представим обобщенный показатель результата операции в виде степенной функции

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

где  $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  — показатели степени.

Параметры функции показателя результата  $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  могут принимать значения  $0, \pm 1$ .

Обобщенный показатель результата операции в виде (4) позволяет получить для разных значений  $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  как основные показатели, так и важнейшие производные показатели по производительности и эффективности-стоимости. В таблице 3 приведены практические варианты использования обобщенного показателя результата операции.

Таблица 3

Показатели эффективности СРЧМ

| № пп | Параметры функции операции                                   | Вид показателя         | Наименование показателя            |
|------|--|------------------------|------------------------------------|
| 1    | $\zeta_0 = \zeta_1 = 1;$<br>$\zeta_2 = \zeta_3 = 0$          | $R_Q = Q$              | Полезный эффект                    |
| 2    | $\zeta_0 = \zeta_2 = 1;$<br>$\zeta_1 = \zeta_3 = 0$          | $R_C = C$              | Стоимость операции                 |
| 3    | $\zeta_0 = \zeta_3 = 1;$<br>$\zeta_1 = \zeta_2 = 0$          | $R_T = T$              | Время на операцию                  |
| 4    | $\zeta_0 = \zeta_1 = 1;$<br>$\zeta_2 = 0;$<br>$\zeta_3 = -1$ | $R_{II} = \frac{Q}{T}$ | Производительность в операции      |
| 5    | $\zeta_0 = \zeta_1 = 1;$<br>$\zeta_2 = -1;$<br>$\zeta_3 = 0$ | $R_9 = \frac{Q}{C}$    | Эффективность — стоимость операции |

Ответственным моментом исследования эффективности операции является выбор показателей и критериев эффективности.

Показатель эффективности операции  $W[\Phi(A_{СРЧМ})]$  есть мера степени соответствия реального результата операции требуемому или потенциальному значению. Критерий эффективности — это правило, позволяющее сопоставить стратегии (алгоритмы получения результата), характеризующиеся различной степенью достижения цели, и осуществлять направленный выбор стратегий из множества допустимых.

В соответствии с введенным обобщенным показателем результата операции (4) и его частными значениями (табл. 3) для оценивания эффектив-

ности функционирования СРЧМ могут использоваться различные группы показателей, характеризующие эффективность технической, экономической, оперативной, технико-экономической и технико-производственной деятельности по достижению главной цели. При этом необходимо сформулировать соответствующие критерии, определяющие надежность выполнения возложенных задач, и экономический эффект от их выполнения.

Наиболее важной и универсальной с точки зрения предложенного пространственно-частотно-временного подхода является группа технико-производственных показателей и критериев эффективности, позволяющая оценить полезный результат  $Q$  функционирования национальной СРЧМ.

Для практического оценивания этой группы показателей и критериев используем **вероятностный и детерминированный** подходы.

При **вероятностном подходе** в качестве общего показателя эффективности функционирования СРЧМ на верхнем уровне используется вероятность достижения цели по решению всех задач РМ

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

где

$$\Omega_Q(Q_{<Z>}) = P(Q_{<Z>} < > Q_{<Z>}^*) = P(\bigcup_{z=1}^Z (Q_z < > Q_z^*))$$

— интегральный закон распределения случайного вектора  $Q_z$  полезного результата операции по мониторингу заданного пространственно-частотно-временного континуума,

$$\Theta_{\Psi}(\Psi_{<Z>}) = P(\Psi_{<Z>} < > \Psi_{<Z>}^*) = P(\bigcup_{z=1}^Z (\Psi_{<Z>} < > \Psi_{<Z>}^*))$$

— функция распределения случайного вектора  $\Psi_{<Z>}$  требуемых (необходимых) результатов по мониторингу заданного пространственно-частотно-временного континуума.

Поскольку подцели (табл. 1) являются несоместными событиями и РП РЧМ независимо решают стоящие перед ними задачи радиомониторинга, то обобщенный показатель  $P_{1Z}$  эффективности функционирования СРЧМ в общем случае представляется в виде суперпозиции вероятностей достижения целей региональными подсистемами:

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

где  $P_{1Z}$  и  $P_{2lz}$  — вероятности достижения каждой  $z$ -й подцели на центральном и региональном уровнях;  $l$  и  $L$  — номер и количество РП РЧМ;  $\rho_z$  — весовые коэффициенты, определяемые централизованно методом экспертной оценки для

каждой из подцелей, для которых должно выполняться условие  $\sum_{z=1}^Z \rho_z = 1$ .

При этом критерии эффективности задаются частными предикатами:

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

На втором уровне вероятность достижения цели  $l$ -й РП РЧМ по каждой  $z$ -й частной задаче определяется суперпозицией вероятностей выполнения задачи  $m$ -ми СРМ по  $n$ -м РЭС (полосам частот)

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

где  $P_{3lzm}$  – вероятность решения задачи контроля  $m$ -м СРМ по  $n$ -му РЭС (полосе частот);  $M$  и  $N$  – количество СРМ и РЭС в  $l$ -й РП РЧМ.

Для данного уровня критерий достижения каждой  $z$ -й подцели выражается частным предикатом

$$G_2 : P_{2lz} \geq P_{2lz}^{mp}. \quad (9)$$

На третьем уровне вероятность достижения цели  $m$ -м СРМ по контролю излучения  $n$ -го РЭС (полосы частот) в  $l$ -й РП РЧМ определяется суперпозицией вероятностей выполнения всех  $H_z$  операций (табл. 2), необходимых при решении  $z$ -й задачи

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

Тогда в соответствии с введенной ранее мерой контроля использования РЧР (1) наиболее полной характеристикой степени приспособленности СРЧМ к достижению цели (показателем эффективности) на контролируемой территории, в полосе контролируемых частот и на заданном интервале времени будет вероятность

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

На основе выражений (6)–(11) несложно получить частные (по задачам) и интегральные (по уровням) вероятностные показатели эффективности функционирования СРЧМ с учетом охвата соответствующего пространственно-частотно-временного континуума. В частности, в табл. 4 представлены интегральные вероятностные показатели эффективности функционирования СРЧМ, РП РЧМ и СРМ для планоу установленного времени контроля  $T^{(k)}$  (смена, месяц, квартал, год).

Из анализа выражения (12) в табл. 4 следует, что в качестве показателей и критериев эффективности функционирования СРМ, по выполнению указанных в табл. 2 операций, могут быть использованы вероятностные пространственно-частотно-временные и точностные, представленные в табл. 5.

Вероятностная система показателей эффективности, приведенная в таблицах 4 и 5, позволяет качественно оценить потенциальные возможности функционирования СРЧМ и спрогнозировать её развитие, а также оценить эффективность функционирования существующих и предъявить требования к модернизируемым и перспективным СРМ. Для сравнения результатов эффективности функционирования СРЧМ за отчетные периоды необходимо определить систему детерминированных количественных показателей эффективности, значения которых соответствовали бы значениям соответствующих вероятностных по-

Таблица 4

Интегральные вероятностные показатели эффективности функционирования СРЧМ, РП РЧМ и СРМ

| Уровень иерархии   | Показатель эффективности | Аналитическое выражение   |
|--|--------------------------|---|
| СРЧМ   | $P_{1L}$                 | $P_{1L} = \bigcup_{l=1}^L P_{2lZMN} (S_l^k, F_l^k, T^k) = f(S^k, F^k, T^k)$   |
| РП РЧМ   | $P_{2lZMN}$              | $P_{2lZMN} = \bigcup_{z=1}^Z \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \rho_z P_{3lzm} (S_{lzm}^k, F_{lzm}^k, T^k) = f(S_l^k, F_l^k, T^k)$  |
| СРМ  | $P_{3lzm}$               | $P_{3lzm} = \bigcup_{z=1}^Z \bigcup_{n=1}^N \rho_z P_{lzmnh} (S_{lzmnh}^k, F_{lzmnh}^k, T^k) = f(\Delta S_l^k, \Delta F_l^k, T^k)$  |
| где  |                          | $P_{3lzm} (S_{lzm}^k, F_{lzm}^k, T) = \bigcup_{h=1}^{H_z} P_{lzmnh} \left\{ \vec{\eta} \in \Delta S_l^k \wedge \vec{\alpha} \in \Delta F_l^k \times \Delta T^k / P_{0m}(f_n, \beta_n) \wedge P_{1m}(\vec{\alpha}) \right\}, \quad (12)$ |
| <p><math>\vec{\eta} = \{x_n, y_n\}</math> – вектор координат РЭС; <math>\vec{\alpha} = \{f_n, \Delta f_n, \Delta \omega_n, U_n, \tau_n, t_n\}</math> – вектор сигнальных признаков излучения РЭС; <math>f_n</math> – несущая частота излучения; <math>\Delta f_n</math> – ширина спектра; <math>\Delta \omega</math> – девиация частоты; <math>U_n</math> – напряженность поля; <math>\tau_n</math> – длительность сигнала; <math>t_n</math> – длительность излучения; <math>P_{0m}(f_n, \beta_n)</math> – вероятность поиска и обнаружения излучения РЭС по частоте и направлению; <math>P_{1m}(\vec{\alpha})</math> – вероятность идентификации излучения РЭС по вектору сигнальных признаков.</p> |                          |   |

Таблица 5

Показатели и критерии эффективности функционирования СРМ

| Наименование показателя эффективности                                       | Показатель эффективности                    | Критерий эффективности  |
|---|---|---|
| 1. Вероятность охвата излучений РЭС по пространству, частоте и времени      | $P_{3lzm}(\Delta S_l^k, \Delta F_l^k, T^k)$ | $P_{3lzm}(\Delta S_l^k, \Delta F_l^k, T^k) \geq P_{3lzm}(\Delta S_l^{mp}, \Delta F_l^{mp}, T^{mp})$ |
| 2. Вероятность поиска и обнаружения излучения РЭС по частоте и направлению  | $P_{0m}(f_n, \beta_n)$                      | $P_{0m}(f_n, \beta_n) \geq P_{0m}^{mp}(f_n, \beta_n)$   |
| 3. Вероятность идентификации излучения РЭС по вектору сигнальных признаков  | $P_{1m}(\vec{\alpha})$                      | $P_{1m}(\vec{\alpha}) \geq P_{1m}^{mp}(\vec{\alpha})$   |
| 4. Среднеквадратическая ошибка измерения направления на РЭС                 | $\sigma_m(\beta_n)$                         | $\sigma_m(\beta_n) \geq \sigma_m^{mp}(\beta_n)$   |
| 4. Среднеквадратическая ошибка идентификации координат РЭС                  | $\sigma_m(\vec{\eta})$                      | $\sigma_m(\vec{\eta}) \geq \sigma_m^{mp}(\vec{\eta})$   |
| 5. Среднеквадратическая ошибка измерения сигнальных признаков излучения РЭС | $\sigma_m(\vec{\alpha})$                    | $\sigma_m(\vec{\alpha}) \geq \sigma_m^{mp}(\vec{\alpha})$   |

казателей, характеризующих заданный уровень качества функционирования системы.

**Детерминированный подход** к оценке эффективности функционирования базируется на том положении, что совокупность задач радиомониторинга решается в некоторой части пространственно-частотно-временного континуума. Результатом операции СРЧМ с учетом (1) является проконтролированная часть пространственно-частотно-временного континуума  $Q = V^k = S^k \cdot F^k \cdot T^k$ .

Для дальнейшего рассмотрения излагаемой проблемы введем следующие обозначения:  $V/N_z$  – радиоспан, занимаемый излучением одного источника (радиоспан);  $V^k/N_z$  – контролируемый радиоспан;  $N_z = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$  – общее количество излучений источников по подцелям операции, приведенным в табл. 1.

Тогда следуя логике рассуждений (5)–(11) введем обобщенный показатель эффективности функционирования СРЧМ по оценке реального состояния использования РЧР  $Q = V^k = S^k \cdot F^k \cdot T^k$ .

$$W^V = \left( \frac{V^k}{N_z} \right) / \left( \frac{V}{N_z} \right) = \frac{V^k}{V} = \frac{S^k \cdot F^k \cdot T^k}{S \cdot F \cdot T} = \sum_{l=1}^L \sum_{z=1}^Z \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^{H_z} P_z \frac{\Delta S_{lzmnh}^k \Delta F_{lzmnh}^k \Delta T_{lzmnh}^k}{\Delta S_{lzmnh} \Delta F_{lzmnh} \Delta T_{lzmnh}} \quad (13)$$

При этом критерий эффективности определяется требуемым значением показателя эффективности, который определяется, исходя из финансово-экономических, технических и организационных возможностей СРЧМ

$$W^V \geq W^{Vmp} \quad (14)$$

Разработанная на основе детерминированного подхода система количественных показателей оценки эффективности функционирования СРЧМ за плановый период  $T^{(k)}$  представлена в табл. 6. Научно-практическая значимость и особенности использования показателей, при-

веденных в табл. 6, заключаются в следующем. Показатель  $W^V$  в табл. 6 является основным показателем эффективности контроля реального состояния использования РЧР.

Частные показатели 2 ( $W^S, W^F, W^T$ ) могут быть использованы для выявления резервов повышения эффективности функционирования СРЧМ по контролю заданных зон действия, частотному диапазону и затратам времени.

Показатели 3 и 4 необходимы для оценки эффективности функционирования стационарной и мобильной составляющих СРЧМ и определения путей их совершенствования и взаимодополнения.

Показатель производительности 5 целесообразно использовать для оценки объема работ по радиомониторингу РЧР, выполненных СРЧМ, региональными подсистемами и средствами (станциями) контроля за определенный период времени.

Показатели 6 позволяют оценить эффективность СРЧМ по решениям основных задач оценки реального состояния использования РЧР. При этом показатели 6.1, 6.3, и 6.4 определяют эффективность радиомониторинга количества РЭС, НДП и источников РП, размещенных на территории, с учетом их охвата по частотному диапазону и затратам времени, а показатель 6.2 – эффективность радиомониторинга количества занятых полос частот с учетом их охвата по территории и времени. В представленном виде показатели 6 целесообразно использовать при непрерывном радиомониторинге (контроле). При выявлении НДП и источников РП существует априорная неопределенность относительно их места расположения, частотных характеристик излучения и времени работы. Данное обстоятельство существенно снижает вероятность и соответственно эффективность выявления НДП и источников РП при проведении периодического контроля. В этом случае для определения пока-

Обобщенная таблица показателей эффективности функционирования СРЧМ на всех уровнях иерархии

| Наименование показателя  | Аналитическое выражение  |
|--|--|
| 1. Показатель эффективности контроля реального состояния использования РЧР   | $W^V = \frac{S^k \cdot F^k \cdot T^k}{S \cdot F \cdot T}$  |
| 2. Частные показатели эффективности контроля использования выделенного РЧР по территории, частотному диапазону и времени     | $W^S = S^k / S, \\ W^F = F^k / F, \quad W^T = T^k / T$   |
| 3. Показатель эффективности функционирования стационарной составляющей СРЧМ  | $W^{VC} = \left( \frac{S^{kc} \cdot F^{kc} \cdot T^{kc}}{S \cdot F \cdot T} \right)_{\text{в зоне ЭМД}}$                       |
| 4. Показатель эффективности функционирования мобильной составляющей СРЧМ   | $W^{VM} = \left( \frac{S^{km} \cdot F^{km} \cdot T^{km}}{S \cdot F \cdot T} \right)_{\text{вне зоны ЭМД}}$                     |
| 5. Показатель производительности СРЧМ за единицу времени (час, смену, сутки)   | $\Pi = \frac{S^k \cdot F^k \cdot T^k}{T}$  |
| 6. Показатель эффективности функционирования СРЧМ по решению совокупности задач оценки реального состояния использования РЧР | $W = \sum_{z=1}^Z \rho_z \cdot W_z, \quad \sum_{z=1}^Z \rho_z = 1$   |
| 6.1. Показатель эффективности контроля соответствия параметров излучений зарегистрированных РЭС нормативным документам       | $W_1^V = \frac{N_1^k \cdot F^k \cdot T^k}{N_1 \cdot F \cdot T}$  |
| 6.2. Показатель эффективности контроля занятости полос радиочастот   | $W_2^V = \frac{S^k \cdot \Delta F_2^k \cdot T^k}{S \cdot F \cdot T}, \quad \Delta F_2^k = \sum_{n=1}^{N_2} n \cdot \Delta f_n$ |
| 6.3. Показатель эффективности выявления незаконно действующих передатчиков   | $W_3^V = \frac{N_3^k \cdot F^k \cdot T^k}{N_3 \cdot F \cdot T}$  |
| 6.4. Показатель эффективности выявления источников радиопомех работе РЭС   | $W_4 = \frac{N_4^k \cdot F^k \cdot T^k}{N_4 \cdot F \cdot T}$  |
| 7. Показатель эффективности решения задач контроля РЧР за счет реализации новых свойств системы                              | $W_z^{(V)} = \sum_{z=1}^Z \frac{W_z^V - W_z^{HY}}{1 - W_z^{HY}}$   |

зателя эффективности выявления НДП целесообразно использовать подход, при котором на основе результатов радиомониторинга в предшествующие периоды времени прогнозируется общее количество НДП в зоне ответственности СРЧМ на текущий (плановый) период, т. е.  $N_3 = N_3^{np}$ . Одновременно для определения показателя эффективности выявления РП необходимо использовать известный подход, основанный на удовлетворении заявок пользователей РЧР о наличии помех в выделенных полосах частот  $N_4 = N_4^s$ . Если на выявление НДП и источников РП руководящим органом устанавливается директивное время  $T^{\text{дв}}$ , то для дополнительной оценки эффективности решения данных задач можно использовать показатель оперативности

$$(W_z^{\text{оп}})_{z=3,4} = T_z^{\text{дв}} - T_z^k / T_z^{\text{дв}}. \quad (15)$$

Этот показатель может принимать значения от 0 до 1. При отрицательном значении показателя (15) задача считается не выполненной.

Показатели эффективности 6 по решению совокупности задач оценки реального состояния использования РЧР служат основой для расчета производственных показателей эффективности

функционирования СРЧМ и ее региональных подсистем.

Показатель 7 табл. 6, характеризует эффективность решения задач контроля РЧР за счет реализации новых свойств системы. Этот показатель представляет собой нормированный относительный прирост эффективности решения  $z$ -й задачи за счет усовершенствования СРЧМ, значения которого должны находиться в интервале (0...1). При этом эффективность решения  $z$ -й задачи при реализации идеальной системы равняется единице, а для реальной системы эта величина всегда будет меньше единицы. Если эффективность решения  $z$ -й задачи по планируемому усовершенствованию СРЧМ становится меньше существующей, то показатель 7 принимает значение меньше нуля, что свидетельствует о негативном эффекте.

Предлагаемая методология и разработанная система показателей могут применяться для оценивания эффективности функционирования любой из национальных СРЧМ с минимальной адаптацией к специфике функционирования конкретной системы и ее основных составляющих.

В соответствии с предложенной методологией были разработаны методика и программ-

ный комплекс оценивания, расчета и прогнозирования показателей эффективности функционирования СРЧМ общих пользователей РЧР Украины [7, 8].

В программно-методическом аппарате учитываются особенности построения и функционирования СРЧМ Украины и ее региональных подсистем. Для этого используются реальные данные по технической оснащенности (типам, количеству, техническим характеристикам и производительности стационарных и мобильных СРМ), количеству, типам и техническим характеристикам контролируемых РЭС, количеству и категориям (группам) радиотехнологий, к которым эти РЭС относятся, площади и населению контролируемых регионов и другие данные. На основании выражения (14) и таблицы 6 определяются и рассчитываются показатели эффективности 6, 5, 4, 3 функционирования СРЧМ на уровнях средств радиомониторинга и региональных подсистем. По количественным значениям показателей эффективности функционирования СРМ и РП РЧМ рассчитываются показатели эффективности стационарной 3 и мобильной 4 составляющих, а затем показатель эффективности функционирования СРЧМ в целом, приведенный в строке 1 таблицы 6.

Применение разработанного программно-методического аппарата проиллюстрируем на примере расчёта показателей эффективности функционирования одной из РП РЧМ.

На рис. 3 представлены результаты поквартального расчета показателей эффективности 6.1–6.4 решения основных задач радиочастотного мониторинга данной РП РЧМ за период 2010–2012 гг. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой общей эффективности выполнения основных задач радиомониторинга. Однако из приведенных графиков не совсем понятны причины низкой эффективности решения задач контроля зарегистрированных РЭС мобильной составляющей, выявления незаконно действующих передатчиков стационарной составляющей, выявления радиопомех во втором квартале 2010 года и др.

С целью анализа и выявления указанных причин в программно-методическом аппарате реализованы выводы промежуточных расчетов охвата средствами радиомониторинга излучений РЭС по радиотехнологиям, территории, частотному диапазону и времени [7, 8]. Для примера на рис. 4 приведены результаты расчета показателей эффективности функционирования мобильной составляющей рассматриваемой РП РЧМ по радиомониторингу каждой из четырех групп радиотехнологий (указаны в нижней части скриншота) в 2010–2012 гг. при выполнении первых двух задач. Наглядно видно, что общую эффективность снижает неэффективный радиомониторинг четвертой группы радиотехнологий. Кроме того, та-

кие данные расчетов позволяют оценить степень изменения эффективности функционирования РП РЧМ за счет ввода существующих и новых типов СРМ (1-й квартал 2011 г.) или списания устаревших (третья группа радиотехнологий в 3-м и 4-м кварталах 2010 г.).

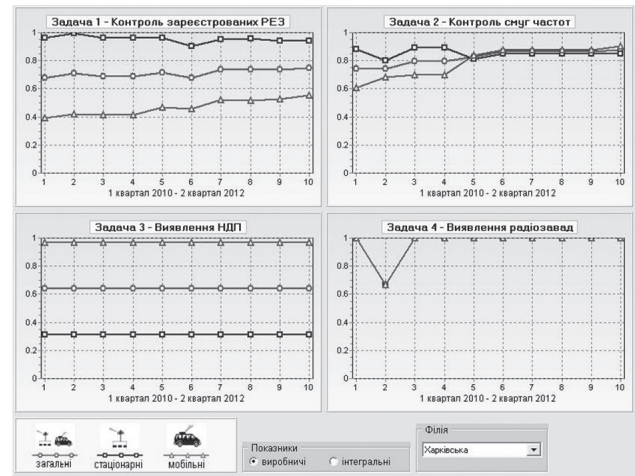


Рис. 3. Результаты расчета показателей эффективности выполнения основных задач радиомониторинга РП РЧМ

На рис. 6 представлены результаты расчета показателей эффективности функционирования стационарной составляющей, мобильной составляющей и РП РЧМ в целом по оценке реального состояния использования регионального РЧР за период 2010–2012 гг. и прогноза динамики их изменения на 2013 г., полученные на основе показателей эффективности решения основных задач радиомониторинга (рис. 4).

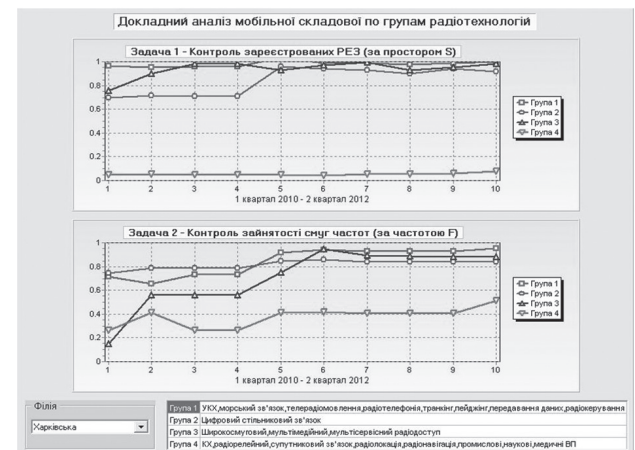


Рис. 4. Результаты расчета показателей эффективности радиомониторинга четырех групп радиотехнологий мобильной составляющей РП РЧМ

На рис. 5, а и 5, б приведены соответственно производственные показатели эффективности без учета пространственно-частотно-временного подхода и интегральные (технические) с учетом предложенного пространственно-частотно-временного подхода. Несмотря на достаточно высокие производственные показатели функци-

онирования РП РЧМ, её СРМ не обеспечивают эффективного охвата излучений зарегистрированных РЭС по территории, частотному диапазону и во времени. Анализ данных показателей позволяет наметить пути совершенствования как функциональной структуры РП РЧМ, так и тактико-технических характеристик СРМ.

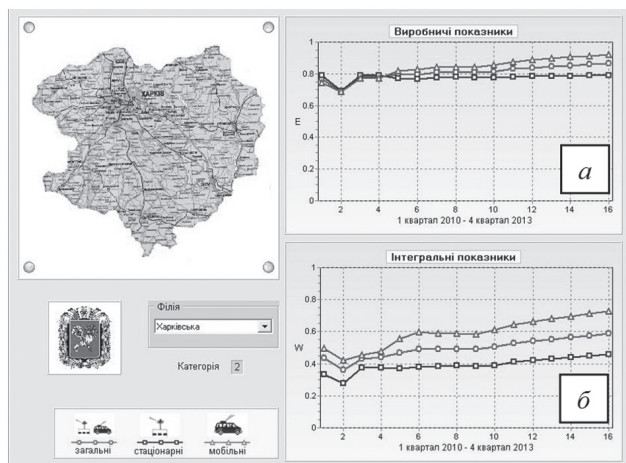


Рис. 5. Результаты расчета показателей эффективности функционирования РП РЧМ: *a* — без учета пространственно-частотно-временного подхода; *б* — с учетом пространственно-частотно-временного подхода

Предложенная методология, реализующие ее методика и программно-аппаратный комплекс прошли практическую проверку в процессе оценки эффективности функционирования 26 РП РЧМ, входящих в структуру национальной СРЧМ Украины. Полученные на их основе показатели эффективности функционирования стационарной составляющей, мобильной составляющей и СРЧМ Украины в целом за период 2010–2012 гг. и результаты прогноза динамики их изменения на 2013 г. без учета и с учетом предложенного пространственно-частотно-временного подхода представлены на рис. 6. Наблюдается ежеквартальное повышение эффективности функционирования СРЧМ в течение рассматриваемого периода, обусловленное опережающим развитием самой системы по сравнению с развертыванием радиотехнологий и количества зарегистрированных РЭС. В то же время эффективность пространственно-частотно-временного охвата радиомониторингом используемого РЧР требует дальнейшего повышения и соответственно дальнейшего развития СРЧМ на всех уровнях.

Таким образом, применение разработанного научно-методического аппарата позволило оценить эффективность функционирования многих составляющих существующей СРЧМ Украины, которые не оценивались ранее. Результаты проведенных расчетов были положены в основу разработки предложений по модернизации и совершенствованию функциональной структуры СРЧМ Украины и ее РП РЧМ.

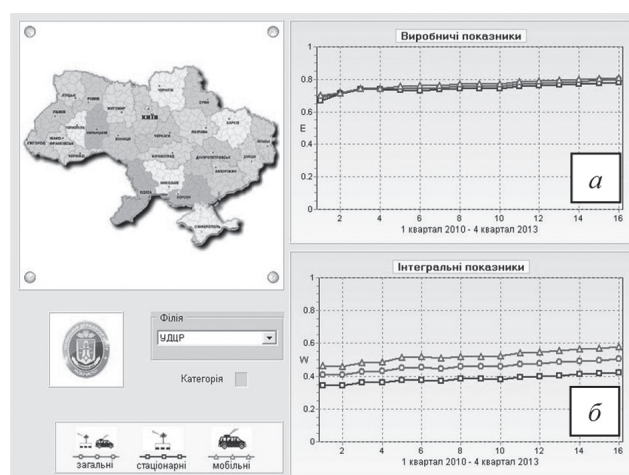


Рис. 6. Результаты расчета показателей эффективности функционирования СРЧМ Украины: *a* — без учета пространственно-частотно-временного подхода; *б* — с учетом пространственно-частотно-временного подхода

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивание эффективности функционирования национальных СРЧМ представляет сложную, многокритериальную и одновременно проблемную задачу, требующую нестандартных подходов и учета многих факторов. В статье изложены разработанные методология и научно-методический аппарат решения данной проблемной задачи, базирующиеся на принципах системного и предложенного пространственно-частотно-временного подходов.

Предложенный методологический пространственно-частотно-временной подход к оценке эффективности функционирования СРЧМ устанавливает диалектическую связь между объективно существующим в пространстве, по частоте, во времени радиочастотного ресурса и степенью его охвата радиомониторингом. Разработанная методология позволяет анализировать любую СРЧМ как целостное образование, в котором между ее структурой и функциями существует взаимосвязь и взаимообусловленность, учесть всю совокупность решаемых задач и технических характеристик ее подсистем и элементов (СРМ).

На базе системного анализа целей, структуры и решаемых задач предложена система обобщенных показателей, обеспечивающая оценивание технической, экономической, производственной, технико-экономической и технико-производственной эффективности функционирования СРЧМ, ее подсистем и элементов по достижению главной цели: оценки реального состояния использования национального РЧР.

На основе пространственно-частотно-временного подхода разработана комплексная система показателей, позволяющая оценивать эффективность функционирования СРЧМ на разных уровнях ее иерархии. Предложенная система показателей включает вероятностные и детерми-

нированные группы показателей, характеризующие эффективность технико-производственной деятельности по достижению целей функционирования СРЧМ, ее подсистем и элементов.

Вероятностная система показателей эффективности позволяет качественно оценить потенциальную эффективность функционирования СРЧМ и спрогнозировать её развитие, а также оценить эффективность функционирования существующих и предъявить требования к модернизируемым и перспективным СРМ.

Детерминированная система показателей, сформированная в рамках предлагаемого подхода, позволяет оценивать эффективность функционирования системы РЧМ с целью получения данных, необходимых для управления использованием РЧР и может применяться на различных уровнях организационной структуры данной системы, начиная с достижения общих целей системы и заканчивая отдельными операциями РЧМ.

Работоспособность предлагаемой методологии и системы показателей технико-производственной деятельности проверена на практике при оценке эффективности функционирования национальной СРЧМ Украины.

#### Литература

- [1] Слободянюк П.В., Благодарный В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу / За заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. – 588 с.
- [2] Слободянюк П.В., Благодарный В.Г. Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра (Теория и практика построения системы радиомониторинга) / Под общ. ред. П.В. Слободянюка. – Прилуки: ООО «Издательство «Аир-Поліграф», 2010. – 296 с.
- [3] Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: «Высшая школа», 1989. – 361 с.
- [4] Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.
- [5] Закон Украины «Про радіочастотний ресурс України» от 24.06.2004 № 1876-IV с изменениями, внесенными согласно Закону № 2119-IV от 21.10.2004.
- [6] Положення про радіочастотний моніторинг у смугах радіочастот загального користування, затвержене рішенням НКРЗ від 16.07.2009 № 1599, зареєстровано у Міністерстві юстиції України 07.08.2009 за № 741/16757.
- [7] Калюжный Н.М., Попов А.М., Ковшарь В.А. Методика оценивания эффективности функционирования системы мониторинга общих пользователей радиочастотного ресурса на основе пространственно-частотно-временного подхода. Часть 1 / Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2013. Вып. 172. – С. 160–169.
- [8] Калюжный Н.М., Попов А.М., Ковшарь В.А. Методика оценивания эффективности функционирования системы мониторинга общих пользователей радиочастотного ресурса на основе пространственно-частотно-временного подхода. Часть 2 / Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2013. Вып. 173.
- [9] Регламент радиосвязи. Сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра. – М.: 2004.
- [10] Бюро радиосвязи МСЭ. Справочник по радиоконтролю. // Женева: МСЭ, 2002. – 585 с.
- [11] ITU. Publications: Recommendation ITU-R SM.1050-2. Tasks of a monitoring service. [Электронный ресурс] // Женева: МСЭ – 2004. – 3с. – Режим доступа к документу: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1050-2-200401-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1050-2-200401-I!!PDF-E.pdf)
- [12] ITU. Publications: Recommendation ITU-R SM.1392-1. Essential requirement for a spectrum monitoring station for developing countries. [Электронный ресурс] // Женева: МСЭ – 2011. – 6 с. – Режим доступа к документу: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1392-2-201102-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1392-2-201102-I!!PDF-E.pdf)
- [13] ITU. Publications: Recommendation ITU-R SM.1046-2. Русская версия. Определение использования радиочастотного спектра и эффективность радиосистемы. [Электронный ресурс] // Женева: МСЭ – 2011. – 45 с. – Режим доступа к документу: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1046-2-200605-I!!PDF-R.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1046-2-200605-I!!PDF-R.pdf)
- [14] Калюжный Н.М., Николаев И.М., Галкин С.А. Методология оценивания эффективности функционирования национальных систем радиочастотного мониторинга // Труды 9 Международного Симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии – СПб, 2011. – С. 164–167.

Поступила в редколлегию 05.09.2013



**Калюжный Николай Михайлович**, кандидат технических наук, научный руководитель проблемной научно-исследовательской лаборатории ХНУРЭ. Научные интересы: системы и средства радиомониторинга, частотно-временная обработка сигналов в условиях априорной неопределенности, комплексная обработка сигнальной и координатной информации о радиоэлектронно-объектовой обстановке.



**Николаев Иван Михайлович**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Научного центра Воздушных Сил Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: системы и средства радиочастотного мониторинга, обработка и анализ информации о радиоэлектронно-объектовой обстановке.



**Ковшар Валентин Александрович**, аспирант научно-исследовательского центра интегрированных информационных систем и технологий ХНУРЭ. Научные интересы: системы и средства радиочастотного мониторинга.

УДК 621.391.827: 645.16

**Системна методологія оцінювання ефективності функціонування національних систем радіочастотного моніторингу на основі просторово-частотно-часового підходу / Н.М. Калюжний, О.М. Попов, В.А. Ковшар // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2013. — Том 12. — № 3. — С. 375–386.**

Викладається методологія оцінки ефективності функціонування національних систем радіочастотного моніторингу (СРЧМ), що базується на системному аналізі складних систем і запропонованому просторово-частотно-часовому підході щодо оцінки ефективності використання функціонуючими радіоелектронними засобами (РЕЗ) виділеного радіочастотного ресурсу (РЧР). Обґрунтовуються ієрархічна структура побудови та функціонування національних СРЧМ, а також цільові функції СРЧМ, регіональних підсистем і їх елементів. Визначаються і обґрунтовуються показники і критерії ефективності функціонування СРЧМ. Пропонується узагальнений математичний опис цих показників у вигляді статичної функції. Наводиться науково-методичний апарат аналітичної оцінки якісних і кількісних показників ефективності функціонування СРЧМ при виконанні основних завдань радіомоніторингу з урахуванням ступеня охоплення контрольованих РЕЗ по території, частоті і часу.

*Ключові слова:* методологія, система, радіочастотний моніторинг, радіочастотний ресурс, ефективність, показник.

Табл.: 6. Іл.: 6. Бібліогр.: 14 найм.

UDC 621.391.827: 645.16

**A system methodology of evaluating the efficiency of functioning national radio frequency monitoring systems based on spatial time-and-frequency approach / N.M. Kalyuzhny, I.M. Nikolaev, V.A. Kovshar' // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2013. — Vol. 12. — № 3. — P. 375–386.**

The paper presents methodology for evaluating the efficiency of functioning national radiofrequency monitoring systems (RFMS) which is based on the system analysis and the proposed spatial time-and-frequency approach to evaluating the effectiveness of radiomonitoring the use of a dedicated radio frequency resources (RFR) by operating radio electronic means (REM). A hierarchical structure of forming and functioning national RFMSs as well as objective functions of RFMSs, regional subsystems and their elements are grounded. Indices and criteria of RFMS functioning efficiency are determined and justified. A generalized mathematical description of these indices in the form of a power function is proposed. The paper gives a scientific and methodological apparatus of analytical evaluation of qualitative and quantitative indicators of RFMS functioning efficiency while performing the main radio monitoring tasks in view of the order of covering the REMs controlled in territory, frequency and time.

*Keywords:* methodology, system, radio frequency monitoring, radio frequency resource, efficiency, efficiency indices.

Tab.: 6. Fig.: 6. Ref.: 14 items.