

# МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПРОТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАДИОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА

Калужный Н.М.<sup>1</sup>, Николаев И.М.<sup>1</sup>, Попов А.М. Ковшар В.А.<sup>1</sup>, Задонский А.И.<sup>1</sup>,

Благодарный В.Г.<sup>2</sup>, Сидак А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина, ПНДЛ РМОТИ, тел/факс. (057) 702-10-68,  
E-mail: [3rmorti7@gmail.com](mailto:3rmorti7@gmail.com)

<sup>2</sup>Украинский государственный центр радиочастот  
03179, Киев, пр. Победы, 15 км, сектора сопровождения радиочастотного  
мониторинга, тел: (044) 422-81-49, E-mail: [sidak@ucrf.gov.ua](mailto:sidak@ucrf.gov.ua), Факс: (044) 422-81-81

Describes the methodology for assessing performance of the system of monitoring radio frequency, developed on the basis of spatial-frequency-time approach to the basic tasks of radio monitoring .

**Введение.** Предлагаемая методика разработана по заказу Украинского государственного центра радиочастот (УГЦР) для оценки эффективности функционирования национальной СРЧМ, ее стационарной и мобильной подсистем, а также региональных подсистем (РП) данной системы. Проведенные исследования показали, что в качестве комплексного показателя эффективности функционирования СРЧМ целесообразно использовать показатель, характеризующий степень охвата этой системой и ее подсистемами контролируемого радиочастотного ресурса (РЧР) по пространству (территории), частоте и времени.

**Основная часть.** Методика учитывает количество и особенности функционирования РП РЧМ, их техническую оснащенность (типы, количество, технические характеристики и производительность стационарных и мобильных средств РК), количество, типы и технические характеристики контролируемых РЭС, количество и категории (группы) радиотехнологий, к которым эти РЭС относятся, площадь контролируемого района и другие характеристики.

Оценка показателей эффективности функционирования СРЧМ осуществляется применительно к задачам, возложенным нормативными документами. Этими задачами являются: контроль параметров излучений РЭС (задача 1); контроль занятости полос частот (задача 2); выявление незаконно действующих передатчиков (задача 3); выявление источников помех работе РЭС (задача 4).

Средства РЧМ (далее – СРМ), используемые в РП РЧМ, имеют различные технические характеристики (диапазон рабочих частот, быстродействие и другие), являются стационарными или мобильными и могут использоваться по назначению только в дневное время или круглосуточно. В связи с этим определяются типы и количество СРМ, которые могут быть задействованы для их решения, исходя из соотношения полос частот СРМ и контролируемых РЭС, а также исходя из коэффициента сменности (времени) работы СРМ в течение суток. Для учета особенностей РЧМ все радиотехнологии, к которым относятся контролируемые РЭС, разделены на 4 категории.

Типы СРМ, которые могут быть задействованы для РК РЭС и полос частот, определяются на основе матрицы  $w_F = \| w_{Fki} \|$  размера  $(K_{СРМ} \times I)$ , элементы  $w_{Fki}$  которой характеризуют степень (коэффициент) взаимного перекрытия диапазонов (полос) рабочих частот СРМ  $k$ -го типа,  $k=1, 2, \dots, K_{СРМ}$ , и РЭС  $i$ -ой радиотехнологии. Матрица  $w_F$  определяется для каждой РП РЧМ, поскольку в разных филиалах и регионах Украины используются разные типы СРМ и РЭС разных радиотехнологий. В результате формируется матрица  $w_F = \| w_{F\lambda ki} \|$ , где  $\lambda=1, 2, \dots, \Lambda$  - номер РП СРЧМ. Значения элементов  $w_{F\lambda ki}$

матрицы, изменяются от 0 при полном не совпадении полос частот СРМ и РЭС до 1 при полном их совпадении.

На основе отчетов филиалов УГЦР о результатах производственной деятельности за квартал определяются: 1) количество смен работы стационарных и мобильных СРМ по контролю РЭС и полос частот, относящихся к разным технологиям; 2) количество запланированных для контроля и проконтролированных стационарными и мобильными СРМ полос частот; 3) количество заявок пользователей РЧР о наличии незаконно действующих передатчиков и радиопомех действующим РЭС, а также время, затрачиваемое на их обнаружение и устранение.

На основе этих данных и годового фонда рабочего времени рассчитываются производственная нагрузка СРМ при односменной и трехсменной работе, средняя производительность за квартал СРМ  $k$ -го типа при выполнении работ по контролю параметров РЭС  $i$ -го типа и контролю загруженности полос частот, относящихся к любой из 4-х групп выделенных радиотехнологий, количество, а также средняя производительность СРМ  $k$ -го типа при выявлении незаконно действующих передатчиков и источников помех. Производительность стационарных и мобильных СРМ  $k$ -го типа задается в виде матриц (таблиц) размером  $(K_{СРМ} \times I)$ , элементы которых  $П_{РЭСki}$  и  $П_{ПЧki}$  рассчитываются, исходя из технических характеристик типов СРМ и особенностей их применения для контроля РЭС разных технологий. Количества СРМ, задействованных для выполнения этих задач отображается в виде матрицы размером  $(K_{СРМ} \times \Lambda)$ , где  $\Lambda$  - число РП СРЧМ (филиалов УГЦР),  $K_{СРМ}$  – общее число типов СРМ.

В зависимости от объема и важности решаемых задач все филиалы УГЦР разбиты на три категории. Для каждой категории филиалов определяется среднее количество смен работы СРМ  $k$ -го типа за квартал  $n_{см kz}$  по каждой задаче РК ( $z = 1, 2, 3, 4$ ).

В качестве показателей эффективности функционирования СРЧМ при выполнении задачи №1 РК в методике используются коэффициенты  $W_{РЭС sl}$ ,  $W_{РЭС Fl}$ ,  $W_{РЭС Tl}$ ,  $\lambda = 1, 2, \dots, \Lambda$ , характеризующие соответственно степень охвата  $\lambda$ -й РП РЧМ территории  $\lambda$ -го филиала УГЦР, в пределах которого расположены подлежащие контролю РЭС, диапазона (полос) частот, выделенного контролируемым РЭС, и времени работы РЭС и средств контроля в течение суток. Значения этих коэффициентов рассчитывается отдельно для стационарной и мобильной подсистем  $\lambda$ -го филиала УГЦР, исходя из числа СРМ, задействованных для решения данной задачи, их средней продуктивности (производственной мощности) за смену по контролю РЭС по каждой группе технологий и коэффициента сменности работы СРМ.

Расчет коэффициента  $W_{РЭС sl}$  производится по формулам:

а) для стационарной подсистемы СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР:

$$W_{РЭС sl \text{ стац}} = \frac{\sum_{k=1}^{K_{СРМ \text{ стац}}} (M_{СРМ \lambda k} П_{РЭС k} n_{РЭС см k})}{N_{РЭС стац \lambda}};$$

б) для мобильной подсистемы СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР:

$$W_{РЭС sl \text{ моб}} = \frac{\sum_{j=1}^4 \left[ \sum_{k=K_{СРМ см}+1}^{K_{СРМ}} (M_{СРМ \lambda k} П_{РЭС kj} n_{РЭС см k}) \right]}{\sum_{j=1}^4 N_{РЭС моб \lambda j}}.$$

где  $M_{СРМ \lambda k}$  – количество СРМ  $k$ -го типа в  $\lambda$ -м филиале УГЦР,  $П_{РЭС k}$  – производительность СРМ  $k$ -го типа по контролю РЭС  $i$ -й радиотехнологии за смену,  $n_{РЭС см k}$  – ко-

личество смен работы СРМ к-го типа по контролю РЭС за квартал,  $N_{РЭС\text{стат}\lambda}$  – количество РЭС, проконтролированных стационарной составляющей СРЧМ,  $N_{РЭС\text{моб}\lambda j}$  – количество РЭС, относящихся к j-й группе радиотехнологий, проконтролированных мобильной составляющей СРЧМ в  $\lambda$ -м филиале УГЦР.

Для детального анализа эффективности функционирования мобильной составляющей СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР производится расчет коэффициентов  $W_{РЭС\lambda}$  для РЭС, относящихся к каждой из 4-х групп выделенных радиотехнологий.

Расчет коэффициента  $W_{РЭС F\lambda}$  производится путем сравнения взвешенных значений нижней ( $F_{СРМ}^H$ ) и верхней ( $F_{СРМ}^6$ ) границ частотного диапазона СРМ к-го типа со взвешенными значениями нижней ( $F_{РЭС}^H$ ) и верхней ( $F_{РЭС}^6$ ) границ частотных диапазонов, выделенных (используемых) РЭС i-ой радиотехнологии. В результате рассчитываются значения коэффициентов взаимного перекрытия диапазонов частот отдельно для стационарной и мобильной подсистем и для  $\lambda$ -го филиала УГЦР в целом:

$$\begin{aligned} W_{РЭС F\lambda \text{стат}} &= W_{F\lambda \text{стат}} (F_{ст\ СРМ\lambda}^6, F_{ст\ СРМ\lambda}^H, F_{РЭС i,\lambda}^6, F_{РЭС i,\lambda}^H); \\ W_{РЭС F\lambda \text{моб}} &= W_{F\lambda \text{моб}} (F_{моб\ СРМ\lambda}^6, F_{моб\ СРМ\lambda}^H, F_{РЭС i,\lambda}^6, F_{РЭС i,\lambda}^H); \\ W_{РЭС F\lambda} &= W_{F\lambda} (F_{СРМ\lambda}^6, F_{СРМ\lambda}^H, F_{РЭС i,\lambda}^6, F_{РЭС i,\lambda}^H). \end{aligned}$$

Расчет коэффициентов  $W_{РЭС T\lambda}$  осуществляется, исходя из числа и типов СРМ, действовавших для решения данной задачи и коэффициента сменности их работы, при этом количество смен работы СРМ за квартал принимается равным 63.

В качестве показателей эффективности функционирования СРЧМ при оценке загруженности полос частот (задача №2) в методике используются коэффициенты  $W_{ПЧ S\lambda}$ ,  $W_{ПЧ F\lambda}$  и  $W_{ПЧ T\lambda}$ , расчет которых производится с учетом специфики рассматриваемой задачи контроля

Коэффициент  $W_{ПЧ S\lambda}$  рассчитывается отдельно для стационарной и мобильной подсистем и для СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР как отношение суммарной площади зон электромагнитной доступности (ЭМД) стационарных  $S_{СРМ\text{стат},\lambda}$  и мобильных  $S_{СРМ\text{моб},\lambda}$  СРМ  $\lambda$ -го филиала к площади  $S_\lambda$  (в км<sup>2</sup>) территории района, на которой размещены РЭС, подлежащие контролю СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР.

Расчет коэффициента  $W_{ПЧ F\lambda}$  осуществляется, исходя из количества плановых и внеплановых заданий по контролю занятости полос частот, количества задействованных СРМ (стационарных и мобильных), их производственной мощности за смену и количества смен работы СРМ за квартал при решении данной задачи. Количество плановых заданий определяется по каждой из четырех групп радиотехнологий для стационарных и мобильных СРМ отдельно. Расчет коэффициента  $W_{ПЧ F\lambda}$  производится по формулам:

$$\begin{aligned} W_{ПЧ F\lambda \text{стат}} &= \frac{\sum_{k=1}^{K_{СРМ\text{ст}}} (M_{СРМ\lambda k} \Pi_{ПЧ k} n_{ПЧ\text{ст}k})}{N_{ПЧ\lambda}^{\text{план}} + N_{ПЧ\lambda}^{\text{впл}}}; \\ W_{ПЧ F\lambda \text{моб}} &= \frac{\sum_{j=1}^4 \left[ \sum_{k=K_{СРМ\text{ст}}+1}^{K_{СРМ}} (M_{СРМ\lambda k} \Pi_{ПЧ kj} n_{ПЧ\text{ст}k}) \right]}{\sum_{j=1}^4 N_{ПЧ\text{моб}\lambda j} + N_{ПЧ\text{моб}\lambda}^{\text{впл}}}, \end{aligned}$$

где  $P_{ПЧ kj}$  – производительность СРМ k-го типа за смену при контроле занятости полос частот, относящихся к j-й группе радиотехнологий,  $n_{ПЧ см k}$  – количество смен работы СРМ k-го типа за квартал по контролю занятости полос частот,  $N_{ПЧ \lambda}^{пл}$ ,  $N_{ПЧ \lambda}^{впл}$  – соответственно количество плановых и внеплановых заданий по контролю полос частот в  $\lambda$ -м филиале УГЦР,  $N_{ПЧмоб.\lambda j}$  – количество полос частот, относящихся к j-й группе радиотехнологий, проконтролированных СРМ k-го типа за квартал,  $N_{РЭСмоб.\lambda j}$  – количество полос РЭС, относящихся к j-й группе радиотехнологий, проконтролированных мобильными СРМ в  $\lambda$ -м филиале УГЦР.

Количество плановых заданий по контролю загруженности полос частот задается в виде матрицы размера  $(\Lambda \times I)$ , элементами которой являются количество  $N_{ПЧ kj}$  полос частот i-й радиотехнологии, запланированных для контроля в  $\lambda$ -м филиале СРЧМ УГЦР.

Производительность СРМ  $P_{РЭС ki}$  и  $P_{ПЧ ki}$  по контролю параметров излучений РЭС и загруженности полос частот задается в виде матриц размера  $(K_{СРМ} \times I)$ , элементами которой являются соответственно количество РЭС  $N_{РЭС ki}$  и количество полос частот  $N_{ПЧ ki}$  i-й радиотехнологии, которое может проконтролировать СРМ k-го типа за смену. На основании этих матриц рассчитываются матрицы средней производительности СРМ k-го типа за смену по каждой из четырех групп радиотехнологий.

Для детального анализа эффективности функционирования мобильной подсистемы СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР по контролю занятости полос частот, относящихся к разным группам выделенных радиотехнологий, производится расчет коэффициента  $W_{ПЧ F\lambda}$  для каждой группы технологий.

Значения коэффициента  $W_{ПЧ T\lambda}$  рассчитываются, исходя из числа СРМ, задействованных для решения данной задачи, коэффициента сменности и количества смен их работы за квартал (количество смен работы СРМ за квартал принимается равным 63). Время работы СРМ  $\lambda$ -го филиала задается в виде матрицы размера  $(K_{СРМ} \times z)$ , элементами которой являются количество смен  $n_{см kz}$  работы СРМ k-го типа ( $k=1, 2, \dots, K_{СРМ}$ ) за квартал, задействованных для решения z-й задачи ( $z=1, 2, 3, 4$ ).

Эффективность функционирования СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР ( $\lambda=1, 2, \dots, \Lambda$ ) при решении задачи выявления незаконно действующих передатчиков характеризуется численными значениями показателей  $W_{НДП S\lambda}$ ,  $W_{НДП F\lambda}$  и  $W_{НДП T\lambda}$ , расчет которых производится на основе гипотезы о том, что количество НДП в регионе прямо пропорционально численности населения. Исходя из этой гипотезы показатель  $W_{НДП S\lambda}$  рассчитывается как отношение суммарной численности населения, проживающего в зонах ЭМД стационарных и мобильных СРМ, к общей численности населения, проживающего на территории контролируемого района, с учетом суммарного количества смен работы за квартал стационарных и мобильных СРМ при выполнении работ по контролю параметров излучений РЭС и загруженности полос частот.

Эффективность функционирования СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР ( $\lambda=1, 2, \dots, \Lambda$ ) при решении задачи выявления источников помех (ИП) работе РЭС (задача 4) характеризуется численными значениями показателей  $W_{ИП S\lambda}$ ,  $W_{ИП F\lambda}$  и  $W_{ИП T\lambda}$ .

Эффективность функционирования РП СРЧМ УГЦР в целом оценивается количественными значениями производственных показателей  $E_{z\lambda}$ , рассчитываемыми за квартал

по каждой задаче контроля на основе показателей эффективности функционирования средств РЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР:

$$\begin{aligned} E_{PЭC\lambda} &= w_{PЭC S\lambda} ; E_{PЭC\lambda \text{ стац}} = w_{PЭC S\lambda \text{ стац}} ; E_{PЭC\lambda \text{ моб}} = w_{PЭC S\lambda \text{ моб}} ; \\ E_{ПЧ\lambda} &= w_{ПЧ S\lambda} ; E_{ПЧ \lambda \text{ стац}} = w_{ПЧ S\lambda \text{ стац}} ; E_{ПЧ \lambda \text{ моб}} = w_{ПЧ S\lambda \text{ моб}} ; \\ E_{НДП \lambda} &= w_{НДП S\lambda} ; E_{НДП \lambda \text{ стац}} = w_{НДП S\lambda \text{ стац}} ; E_{НДП \lambda \text{ моб}} = w_{НДП S\lambda \text{ моб}} ; \\ E_{ИП \lambda} &= w_{ИП S\lambda} ; E_{ИП \lambda \text{ стац}} = w_{ИП S\lambda \text{ стац}} ; E_{ИП \lambda \text{ моб}} = w_{ИП S\lambda \text{ моб}} . \end{aligned}$$

Результаты расчета производственных показателей  $E_{z\lambda}$  СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР по каждой задаче контроля представляются в виде матрицы размером  $(z \times \Lambda)$ .

Далее вычисляется обобщенный производственный показатель  $E_{\lambda}$  эффективности функционирования РП СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР, его стационарной и мобильной подсистем за квартал в виде взвешенной суммы показателей  $E_{z\lambda}$ , а также расчет производственных показателей эффективности функционирования СРЧМ УГЦР в целом за квартал по каждой  $z$ -й задаче РК и по всем задачам в целом.

На основе показателей эффективности функционирования средств РЧМ производится расчет интегральных показателей эффективности контроля состояния использования РЧР РП РЧМ. В качестве интегральных показателей эффективности функционирования  $\lambda$ -й РП СРЧМ УГЦР по контролю состояния использования РЧР принимаются показатели  $W_{z\lambda} = w_{zS\lambda} w_{zF\lambda} w_{zT\lambda}$ ,  $W_{z\lambda \text{ стац}} = w_{zS\lambda \text{ стац}} w_{zF\lambda \text{ стац}} w_{zT\lambda \text{ стац}}$ ,  $W_{z\lambda \text{ моб}} = w_{zS\lambda \text{ моб}} w_{zF\lambda \text{ моб}} w_{zT\lambda \text{ моб}}$ , характеризующие эффективность выполнения  $z$ -й задачи РК  $\lambda$ -й РП СРЧМ УГЦР в целом и ее стационарной и мобильной подсистемами.

Далее рассчитываются показатели  $W_{\lambda}$ ,  $W_{\lambda \text{ стац}}$ ,  $W_{\lambda \text{ моб}}$ , характеризующие эффективность контроля состояния использования РЧР в  $\lambda$ -м регионе СРЧМ  $\lambda$ -й РП СРЧМ УГЦР в целом, а также ее стационарной и мобильной подсистемами. Расчет показателей  $W_{\lambda}$ ,  $W_{\lambda \text{ стац}}$ ,  $W_{\lambda \text{ моб}}$ , осуществляется с учетом важности (веса) задач РК, возложенных на СРЧМ  $\lambda$ -го филиала УГЦР.

В качестве интегральных показателей эффективности контроля состояния использования РЧР системой РЧМ УГЦР в целом принимаются показатели  $W_{СРЧМ z}$ ,  $W_{СРЧМ z \text{ стац}}$ ,  $W_{СРЧМ z \text{ моб}}$ , характеризующие эффективность контроля состояния использования РЧР системой РЧМ УГЦР в целом при выполнении  $z$ -й задачи РК, а также показатели  $W_{СРЧМ}$ ,  $W_{СРЧМ \text{ стац}}$ ,  $W_{СРЧМ \text{ моб}}$ , характеризующие эффективность контроля состояния использования РЧР системой РЧМ УГЦР в целом по всей совокупности задач РК, а также ее стационарной и мобильной подсистемами.

Результаты расчета показателей  $W_{СРЧМ}$ ,  $W_{СРЧМ \text{ стац}}$ ,  $W_{СРЧМ \text{ моб}}$  представляются в виде матриц-столбцов размера  $(1 \times z)$ , элементами которой являются числа, характеризующие эффективность выполнения системой РЧМ УГЦР задач контроля эффективности использования РЧР Украины в полосах частот общего пользования.

В соответствии с представленной методикой было разработано программное обеспечение и база данных (БД), которые обеспечивают автоматизацию решения следующих основных задач:

- расчет производственных и интегральных показателей эффективности функционирования средств РМ, филиалов (РП РЧМ) и СРЧМ по задачам в целом;
- оценка и прогнозирование показателей эффективности функционирования СРЧМ УГЦР и филиалов в будущих периодах.
- сопровождение баз данных содержащих исходные данные и результаты расчетов;

– отображение результатов расчетов в доступной для пользователя форме.

Главное окно программы, отображающее результаты расчетов эффективности функционирования Киевской РП РЧМ, представлено на рисунке.1

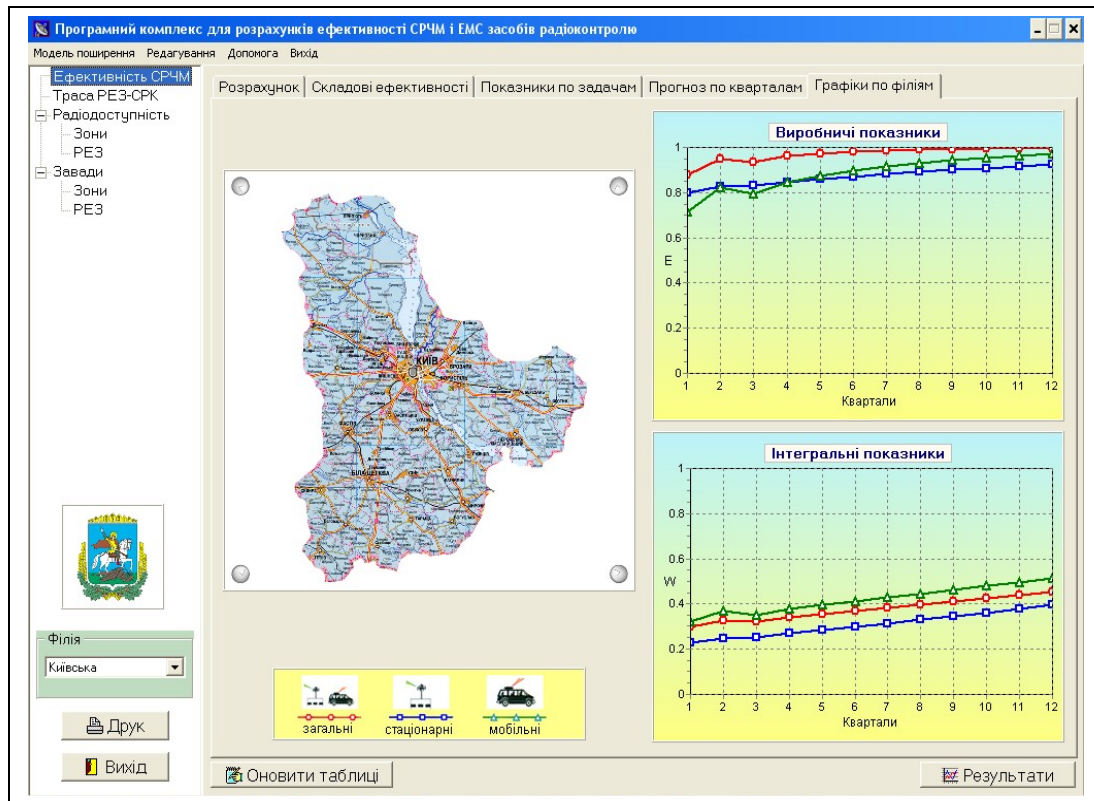


Рисунок 1

В БД ПО содержатся сведения о: количестве СРМ в филиалах УГДР и динамике их изменения по кварталам, поквартальных результатах РК в филиалах УГЦР, зонах охвата стационарных постов и мобильных СРМ, рабочих частотах зарегистрированных РЭС (ИУ) и их принадлежности к группам радиотехнологий, количестве плановых и внеплановых задач контроля загрузки полос радиочастот, выполненных стационарной и мобильной компонентами РП РЧМ филиалов УГЦР, количестве поступивших и выполненных заявок по устранению источников радиопомех и времени выполнения, а также другие сведения, необходимые для эффективного функционирования разработанного ПО.

**Выводы.** Разработанная методика позволяет быстро и наглядно оценивать пространственно-частотно-временные и производственные показатели эффективности функционирования СРЧМ УГЦР, ее стационарных и мобильных подсистем, а также региональных подсистем данной системы при выполнении различных задач РК как по отдельности, так и в их совокупности.