

УДК 621.391.827: 645.16

Н.М. Калюжный, А.М. Попов, В.А. Ковшарь

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНАЯ СИСТЕМА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАДИОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА В ПОЛОСАХ ЧАСТОТ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

*Описывается алгоритм оценивания эффективности функционирования систем радиочастотного мониторинга с использованием разнотипных средств радиоконтроля по комплексному решению основных задач радиомониторинга в полосах частот общего пользования национального радиочастотного ресурса. Представлена система частных показателей, на основе которых рассчитываются обобщенные производственные и интегральные показатели эффективности каждой региональной подсистемы и системы в целом. Приводится реализация описанных алгоритмов в виде информационно-расчетной системы. Рассмотрены результаты оценивания эффективности работы системы. Украины за 2011-2013 годы с прогнозом на 2014 год. Приводится анализ полученных результатов расчета эффективности работы региональных подсистем, на основе которых предлагаются рекомендации по развитию системы.*

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

### Введение

В последние годы наблюдается значительный рост количества радиоэлектронных средств (РЭС) нового поколения. Это сопровождается внедрением новых радиотехнологий, но влечет за собой повышение загрузки национального радиочастотного ресурса (РЧР) и соответственно увеличение рабочей нагрузки на национальные радиочастотные органы.

Система радиочастотного мониторинга (СРЧМ) Украины активно развивалась на протяжении последних 10 лет и на сегодняшний день является одной из крупнейших в Европе. Она была построена Государственным предприятием «Украинский государственный центр радиочастот» (ГП УГЦР) и включает в свой состав около 140 мобильных и почти 200 стационарных средств радиоконтроля (СРК), которые развернуты в более чем 100 населенных пунктах Украины. Процессом радиомониторинга охвачены около 200 тыс. РЭС. При этом все стационарные СРК работают в автоматизированном режиме, а их функциональные и технические возможности полностью соответствуют требованиям к станциям радиоконтроля, определенным Международным союзом электросвязи. Некоторые образцы мобильных СРК, в частности, специализированные станции радиоконтроля типа ССТК и РМ-ШСД являются уникальными.

В условиях дефицита свободного РЧР для обеспечения необходимых темпов развития сферы телекоммуникаций существующей СРЧМ проводится постоянный контроль над использованием национального РЧР, соблюдением пользователями РЧР порядка и правил его использования, выполнением условий предоставленных лицензий и разрешений

на эксплуатацию РЭС, своевременного выявления и устранения действий радиопомех и незаконно действующих передатчиков.

Для использования существующей СРЧМ, ее региональных подсистем (РП РЧМ) и парка СРК на высоком уровне необходимо предпринимать меры для повышения эффективности их функционирования. Одним из главных путей решения этой задачи является увеличение качества и оперативности работы СРК. Это может быть достигнуто за счет разработки новых СРК или модернизации существующих с применением новых информационных систем и технологий [5], что позволит поддерживать работу системы в актуальном состоянии с учетом современных тенденций технологического развития.

В работах [1 – 3] описан разработанный научно-методический аппарат оценивания эффективности функционирования СРЧМ, который основан на системном и предложенном пространственно-частотно-временном (Spatial-Frequency-Temporal) подходе. Разработанная единая система показателей позволяет провести оценивание технико-производственной эффективности функционирования СРЧМ как в условиях полной, так и частичной априорной неопределенности параметров излучений РЭС, разнесенных по территории, частотному диапазону и времени.

**Целью статьи** является представление результатов разработки на базе предложенного научно-методического аппарата [1-3] программно-алгоритмического обеспечения применительно к оцениванию эффективности функционирования СРЧМ в полосах частот общего пользования Украины, реализованного в виде информационно-расчетной системы (ИРС) «Эффективность».

## Основная часть

Одной из важнейших задач национальной СРЧМ является сбор, хранение и анализ данных о состоянии использования выделенного РЧР в полосах частот общего пользования [4] для принятия управленческих решений по его эффективному регулированию.

Выполнение данной задачи реализует предложенный авторами обобщенный алгоритм оценивания эффективности функционирования СРЧМ (рис 1).

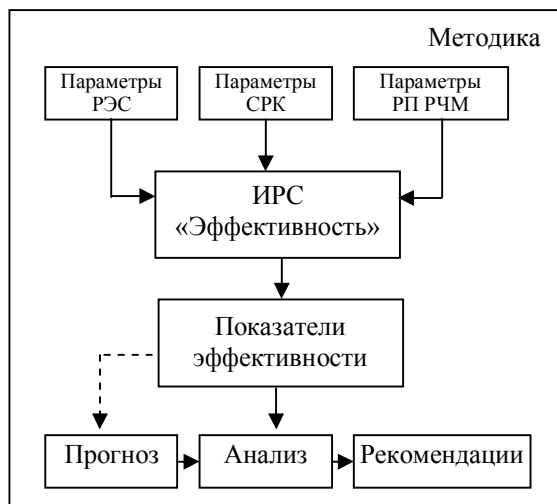


Рис. 1. Обобщенный алгоритм оценивания эффективности функционирования СРЧМ

Он включает в себя несколько основных последовательных этапов:

- обоснование перечня технико-производственных показателей оценки эффективности функционирования СРЧМ и РП РЧМ, входящих в их состав типов и количества СРК, типов и количества РЭС, контролируемых в пространственно-частотно-временной области;

- разработка программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) для расчета предлагаемых технико-производственных показателей;

- разработка ПАО для прогнозирования значений показателей эффективности на заданный период времени;

- анализ полученных результатов.

- разработка рекомендаций по совершенствованию системы.

Цель функционирования СРЧМ достигается путем решения четырех основных задач радиомониторинга (табл. 1) [5, 6].

Обобщенный алгоритм учитывает как статическую, так и динамическую информацию. К статической информации относятся:

- параметры РЭС каждой радиотехнологии (диапазон рабочих частот, принадлежность к определенной группе);

- параметры стационарных и мобильных СРК (диапазон частот контроля, производительность по контролю РЭС и полос частот);

- параметры каждой РП РЧМ (площадь и количество населения).

Таблица 1

Основные задачи радиомониторинга

Номер задачи	Описание задачи
1	Контроль соответствия параметров излучений зарегистрированных РЭС нормативным документам
2	Контроль занятости полос радиочастот
3	Выявление незаконно действующих передатчиков (НДП)
4	Выявление источников радиопомех (ИРП)

К динамической информации, которая может меняться за отчетный период в каждой РП РЧМ УГЦР, относятся следующие данные:

- количество зарегистрированных РЭС каждой радиотехнологии, которые находятся в зоне электромагнитной доступности (ЭМД) и вне зоны ЭМД;

- количество выделенных полос частот для каждой радиотехнологии, подлежащих контролю в зоне ЭМД и вне зоны ЭМД;

- количество СРК каждого типа;

- время (количество смен) работы СРК по выполнению каждой задачи радиомониторинга;

- параметры РП РЧМ филиала (площадь и численность населения, контролируемых стационарными и мобильными СРК);

- параметры внеплановых задач (количество проконтролированных полос частот, заявленных радиопомех, выявленных НДП и ИРП).

На основе этих исходных данных стало возможным обосновать состав частных показателей эффективности выполнения каждой задачи в пространстве, частотном диапазоне и во временной области для каждой РП РЧМ за отчетный период для стационарной, мобильной и общей составляющей СРЧМ (табл. 2). Данные частные показатели позволяют вычислить производственные и интегральные показатели эффективности каждой РП РЧМ и СРЧМ в целом. Кроме того, значения этих показателей возможно спрогнозировать на заданный период времени.

Разработанный алгоритм оценивания эффективности функционирования СРЧМ представлен на рис. 2.

Для практической реализации предлагаемого алгоритма была разработана ИРС «Эффективность». Она позволяет оперативно и качественно решить задачу оценивания эффективности функционирования СРЧМ Украины в автоматизированном (с участием оператора) режиме.

Система частных показателей эффективности функционирования СРЧМ

Задача	По территории S			По частоте F			По времени T		
	стац.	моб.	общ.	стац.	моб.	общ.	стац.	моб.	общ.
1	WSst <sub>1</sub>	WSmob <sub>1</sub>	WS <sub>1</sub>	WFst <sub>1</sub>	WFmob <sub>1</sub>	WF <sub>1</sub>	WTst <sub>1</sub>	WTmob <sub>1</sub>	WT <sub>1</sub>
2	WSst <sub>2</sub>	WSmob <sub>2</sub>	WS <sub>2</sub>	WFst <sub>2</sub>	WFmob <sub>2</sub>	WF <sub>2</sub>	WTst <sub>2</sub>	WTmob <sub>2</sub>	WT <sub>2</sub>
3	WSst <sub>3</sub>	WSmob <sub>3</sub>	WS <sub>3</sub>	WFst <sub>3</sub>	WFmob <sub>3</sub>	WF <sub>3</sub>	WTst <sub>3</sub>	WTmob <sub>3</sub>	WT <sub>3</sub>
4	WSst <sub>4</sub>	WSmob <sub>4</sub>	WS <sub>4</sub>	WFst <sub>4</sub>	WFmob <sub>4</sub>	WF <sub>4</sub>	WTst <sub>4</sub>	WTmob <sub>4</sub>	WT <sub>4</sub>

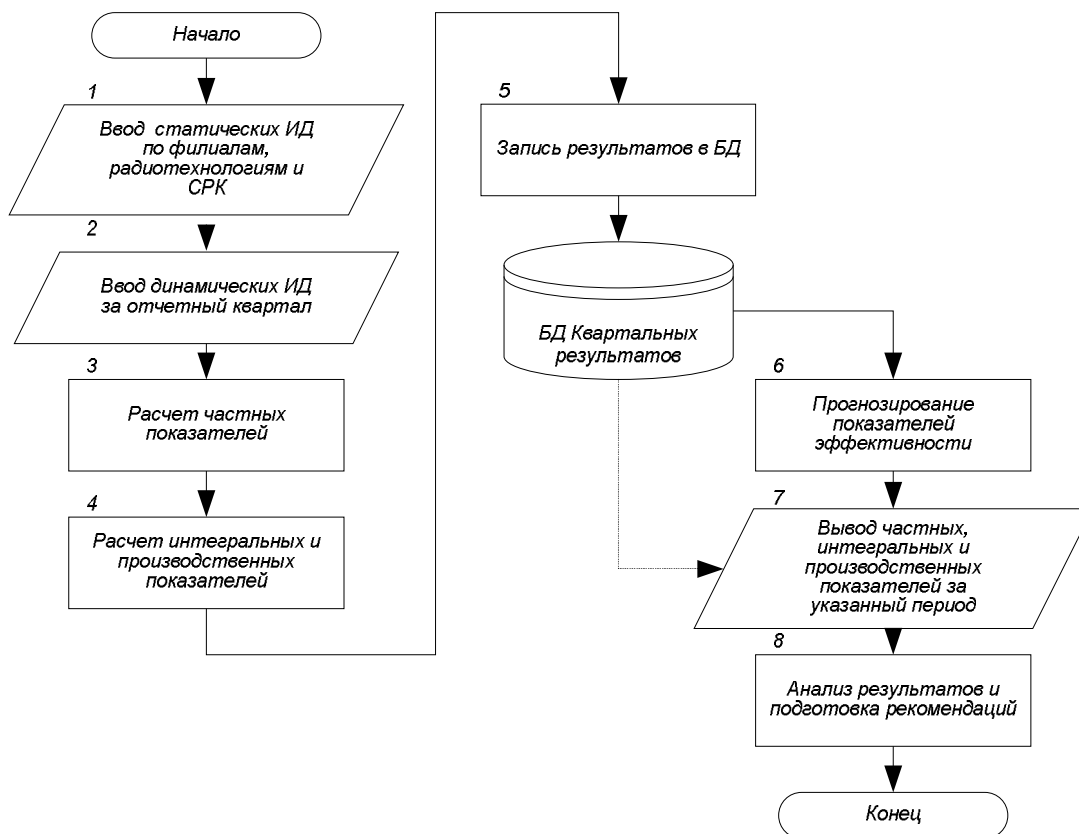


Рис. 2. Алгоритм оценивания эффективности функционирования СРЧМ

**ИРС «Эффективность».** Общая структурная схема ИРС, разработанной для автоматизированного расчета показателей эффективности функционирования СРЧМ, представлена на рис. 3.

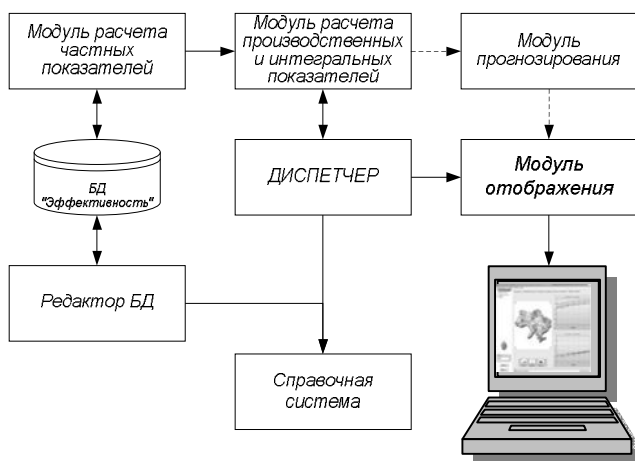


Рис. 3. Общая структурная схема ИРС «Эффективность»

Модуль расчета частных показателей предназначен для вычисления значений частных показателей на основе соответствующих исходных данных. Модуль расчета производственных и интегральных показателей позволяет вычислить соответствующие показатели в каждом филиале и СРЧМ в целом за отчетный квартал. Модуль прогнозирования позволяет оценить значения показателей эффективности на заданный интервал времени с использованием выбранной модели регрессии.

Справочная система содержит полную инструкцию по работе с ИРС во всех режимах ее работы.

Диспетчер обеспечивает синхронизацию основных модулей ИРС и базы данных (БД) и позволяет поддерживать оптимальный (безпомеховый) режим их взаимодействия.

Более подробно рассмотрим модуль отображения и БД ИРС. С их помощью происходит взаимодействие пользователя (оператора) и соответствующего программного обеспечения на рабочем месте.

Все страницы рабочего интерфейса выполняют функцию отображения расчетов эффективности функционирования СРЧМ (кроме страницы «Главная») на основе просмотра и детального анализа рассчитанных показателей эффективности. Главное окно программы приведено на рис. 4

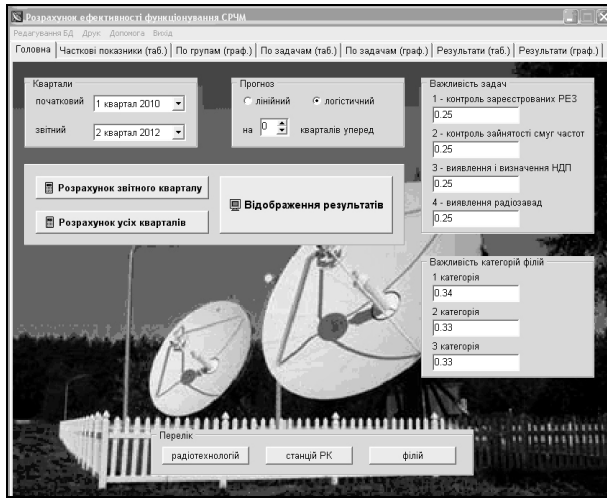


Рис. 4. Главное окно ИРС «Эффективность»

Назначение основных элементов главной страницы: «Кварталы» – позволяет задавать начальный и отчетный (последний) кварталы; «Прогноз» – позволяет задавать параметры прогноза: модель (линейная  $y = ax + b$  или логистическая сигмоидальная  $y = 1 / (1 + e^{ax + b})$  и интервал (от 0 до 8 кварталов); «Важность задач» – позволяет задавать важности (веса) каждой из четырех основных задач радиомониторинга; «Важность категорий филиалов» – позволяет задавать важности (веса) каждой из трех категорий РП РЧМ (филиалов) УГЦР; «Расчет отчетного квартала» – осуществляет расчет частных, производственных и интегральных показателей за отчетный квартал; «Расчет всех кварталов» – осуществляет пересчет показателей с начального квартала по отчетный квартал; «Отображение результатов» – выводит результаты расчетов в табличном и графическом виде с первого до отчетного кварталов, а также результаты прогнозирования; «Перечень» – выводит типы радиотехнологий, СРК и названия РП РЧМ с фиксированными номерами (рис. 5).

Визуализация результатов работы ИРС. Полученные результаты расчета и прогнозирования показателей эффективности в табличном и графическом виде отображаются на дисплее при помощи разработанного интерфейса.

Вкладка «Частные показатели (таб.)» (рис 6) позволяет осуществить детальный анализ показателей эффективности функционирования СРЧМ по каждой задаче в пространственно-частотно-временной области, для каждой группы радиотехнологий, для стационарной, мобильной и общей составляющих СРЧМ за отчетный квартал.

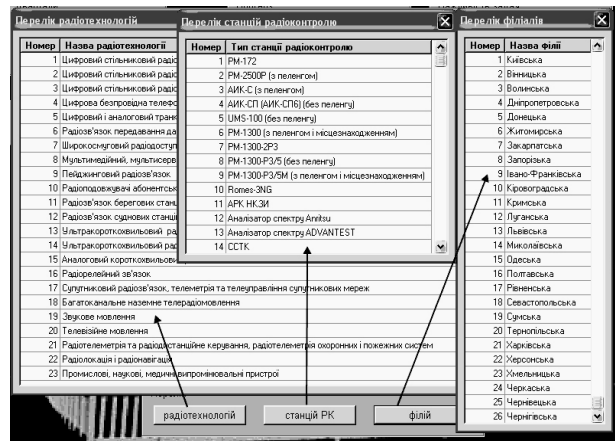


Рис. 5. Перечень справочной информации

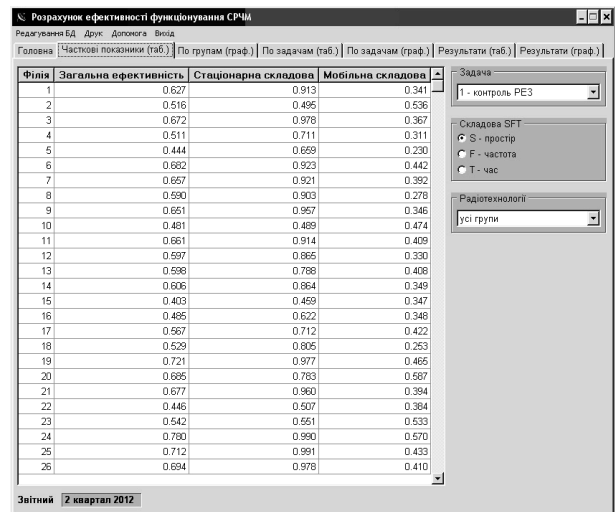


Рис. 6. Результаты расчета частных показателей эффективности

Вкладка «По группам (граф.)» (рис. 7) показывает динамику изменений частных показателей выполнения первой и второй задач мобильной составляющей СРЧМ по РЭС каждой группы радиотехнологий за все отчетные кварталы.

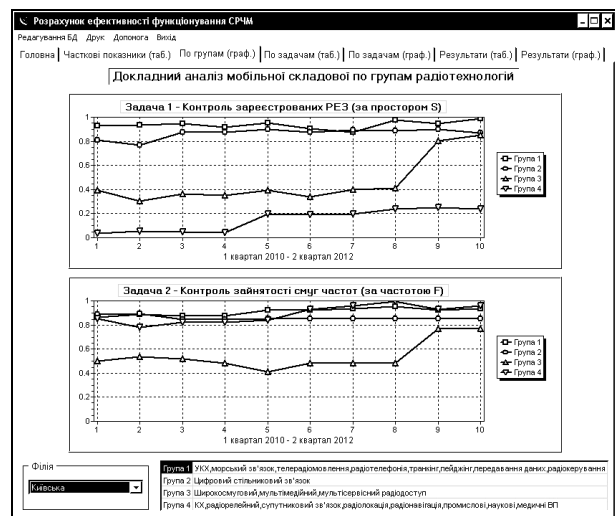


Рис. 7. Подробный анализ мобильной составляющей

Вкладка «По задачам» разбита на два подраздела. Первый осуществляет отображение в табличной форме рассчитанных производственных и интегральных показателей выполнения каждой задачи и усредненных по всем задачам за отчетный квартал (рис. 8, а). Второй осуществляет отображение полу-

ченных результатов в графической форме (рис. 8, б). Вкладка «Результаты» также разделена на два подраздела. Результаты расчетов обобщенных производственных и интегральных показателей за все кварталы представлены в табличной и графической форме на рис. 9.

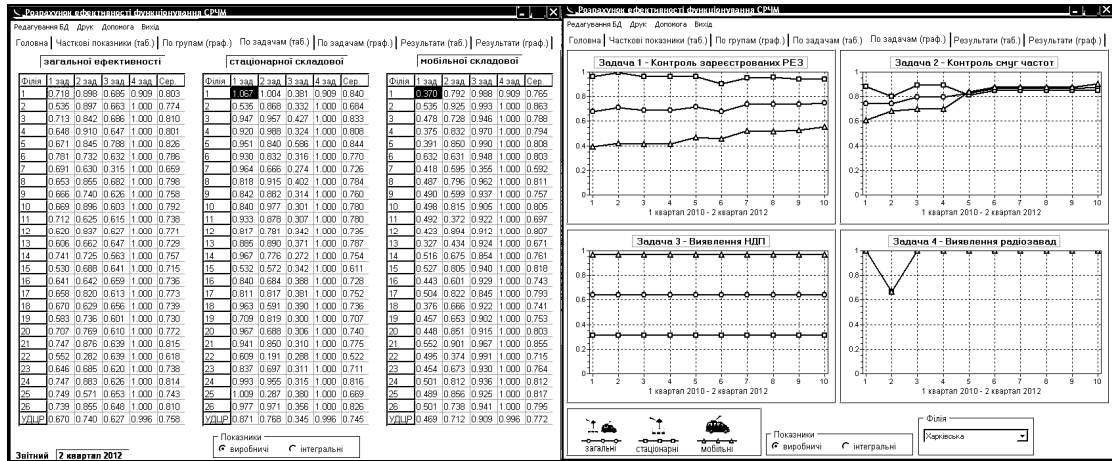


Рис. 8. Представление расчетов по задачам в табличной (а) и графической (б) формах

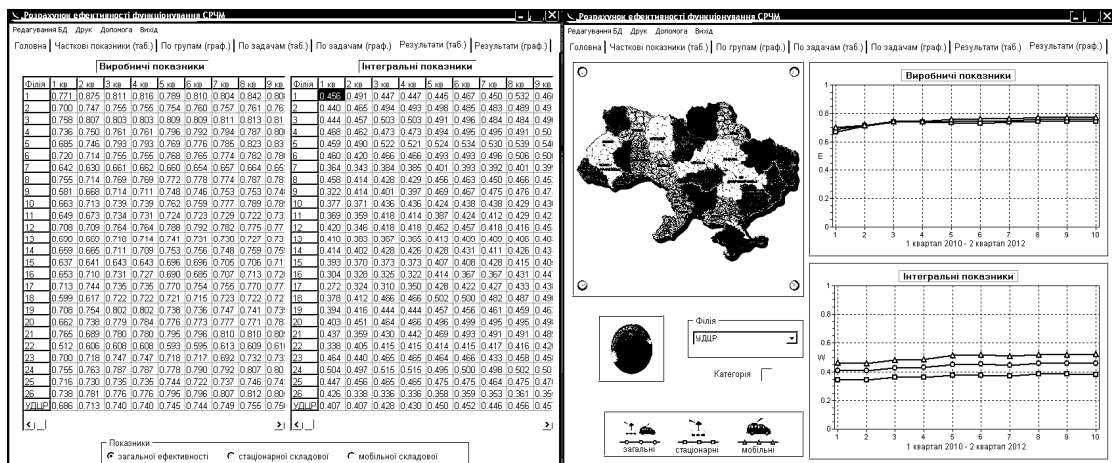


Рис. 9. Результаты оценивания эффективности функционирования национальной СРЧМ

Исходные данные для проведения расчетов вводятся при помощи редактора БД.

БД ИРС управляется посредством объектно-реляционной СУБД PostgreSQL и автоматизированный расчет всех показателей эффективности функционирования СРЧМ за каждую РП РЧМ в отчетном квартале, а также хранение результатов расчетов показателей эффективности за все отчетные кварталы.

Главное меню редактора БД (рис. 10) в левой части окна реализовано в виде древовидной структуры. Для редактирования данных по радиотехнологиям, параметрам РЭС, СРК и РП РЧМ в редакторе предусмотрены соответствующие подразделы. Дополнительно редактор оснащен возможностью добавления нового типа СРК. Это позволяет проводить эксперименты по исследованию влияния на

эффективность СРЧМ оборудования иностранного производства без его покупки, при условии, что известны его технические характеристики.

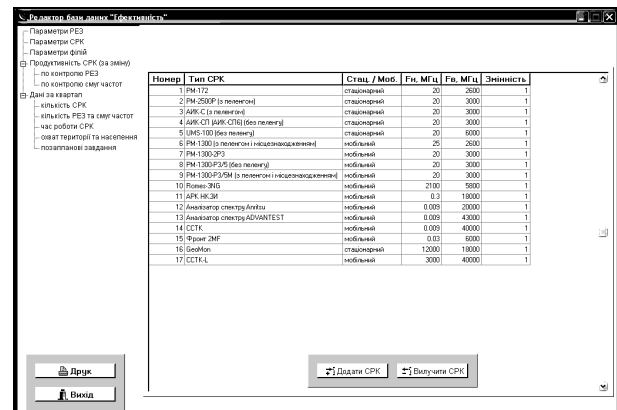


Рис. 10. Интерфейс редактора БД ИРС

Удобство и повышение оперативности работы обеспечивается возможностью копирования информации с предыдущего квартала в текущий и внесением лишь произошедших изменений в динамической информации. Действие этой операции распространяется только на таблицу, которая выбрана в данный момент.

С помощью ИРС было проведено оценивание эффективности функционирования РП РЧМ и СРЧМ УГЦР в целом за 2011- 2013 годы и осуществлен прогноз на 2014 год.

**Краткий анализ полученных результатов.** При решении задачи **контроля параметров излучения РЭС** все РП РЧМ УГЦР, за исключением Сумской, за 2011-2013 годы обеспечили рост показателя охвата территории, на которой расположены РЭС, подлежащие контролю. К концу расчетного периода общий результат за СРЧМ составил более 70% охвата территории Украины и 85% всех существующих РЭС общих пользователей. Основной вклад в решение этой задачи осуществляют стационарные составляющие РП РЧМ. Расчеты показывают, что мобильные составляющие всех РП РЧМ УГЦР при контроле параметров излучения РЭС не обеспечивают охвата всей территории, на которой расположены РЭС, подлежащие контролю.

В 2011-2013 годах наибольшую эффективность по **контролю полос частот** имели Киевская и Днепропетровская РП РЧМ. Они обеспечили охват более 90% полос частот общего пользования. Другие РП РЧМ УГЦР так же показали достаточно высокие результаты (60-80%) выполнения данной задачи.

Наименьшее значение этого показателя имела Херсонская РП РЧМ, которая обеспечила охват всего 26% полос частот, подлежащих контролю. Столь низкий результат обусловлен недостаточным обеспечением необходимыми типами СРК в данном регионе.

Эффективность **выявления НДП и ИРП** за исследуемый период для всех РП РЧМ национальной СРЧМ находилась в пределах 60-70%. Исключением являлась Закарпатская РП РЧМ. Для нее этот показатель составлял 31%. В связи с особенностями рельефа (горная местность) в данном регионе очень часто мобильные СРК не имели возможности выезда на точку контроля и последующего выявления НДП или выполняли поставленную задачу с недостаточной оперативностью.

Основной вклад в решение задачи выявления НДП осуществляли мобильные составляющие СРЧМ УГЦР. Этот показатель для мобильных СРК практически во всех РП РЧМ составлял более 90%.

Из-за ограниченности зон ЭМД стационарные составляющие РП РЧМ УГЦР не обеспечивали эффективного решения задачи выявления НДП, что снижает общий показатель эффективности.

Динамика изменений результатов оценивания эффективности работы РП РЧМ УГЦР и их стационарных и мобильных составляющих в течение 2011-2013 годов обусловлена изменением числа РЭС, подлежащих контролю, а также изменениями в составе СРК, а именно: введением новых и изъятием старых. Так, например, введение в Киевском филиале в первом квартале 2013 года нового СРК типа «Front-2MF» позволила на 30% повысить эффективность контроля РЭС, отнесенных к третьей группе радиотехнологий (см. рис. 7).

Подробный анализ показал отчетливый ежеквартальный рост эффективности функционирования СРЧМ Украины. Прогноз результатов оценивания на 2014 год показал повышение эффективности по всем основным показателям РП РЧМ и СРЧМ в целом.

На основании полученных результатов можно прийти к выводу, что оснащенность большей части РП РЧМ существующими СРК достаточна, для обеспечения дальнейшего роста количества РЭС без усовершенствования и обновления парка существующих станций. Но тенденцию роста количества РЭС необходимо отслеживать ежеквартально. Это позволит своевременно предотвратить проблему с ограниченным количеством СРК определенного типа. Выявленные в ходе исследований проблемные регионы рекомендуется оснастить недостающими СРК и провести реорганизацию в системе выполнения поставленных задач.

В целом, анализ проведенных расчетов свидетельствует о том, что существующая СРЧМ УГЦР еще не оптимизирована с точки зрения эффективности использования СРК, а также эффективности работы при решении задач радиомониторинга РЭС различных радиотехнологий, а также различных задач контроля.

## Заключение

Оценивание эффективности функционирования национальных СРЧМ является сложной многокритериальной задачей, для решения которой применение существующих методов и подходов оценивания эффективности не позволило получить необходимых результатов. В процессе детального изучения специфики функционирования СРЧМ были разработаны методология и научно-методический аппарат, который базируется на принципах системного и предложенного пространственно-частотно-временного подходов. Это позволило обосновать систему показателей оценивания технико-производственной эффективности работы СРЧМ и ее РП РЧМ [1, 2].

Представленная в статье ИРС «Эффективность» предназначена для реализации разработанного научно-методического аппарата, автоматизации процедур расчета и получения достоверных резуль-

татов эффективности использования национальной СРЧМ. В программно-алгоритмическом обеспечении ИРС "Эффективность" СРЧМ представлена как целостный объект, в котором между ее структурой, функциями и операциями существует взаимосвязь. Учитываются классы контролируемых радиотехнологий, вся совокупность решаемых задач и технические характеристики системы на всех уровнях иерархии.

Работоспособность ИРС «Эффективность», заложенные в его основу методология и система показателей проверены на практике при оценке эффективности функционирования национальной СРЧМ Украины. Экспериментальные результаты, полученные вследствие применения изложенных в статье алгоритмов оценивания, получили положительные отзывы и подтверждение соответствия результатов экспериментов реальным параметрам специалистами УГЦР.

Разработанная методология и программно алгоритмический аппарат позволяют провести оценивание эффективности функционирования любых национальных СРЧМ с целью получения результатов, необходимых для управления использованием РЧР и могут применяться на различных уровнях организационной структуры, начиная с достижения общих целей системы и заканчивая отдельными операциями радиочастотного мониторинга. Различия в законодательной базе по регулированию РЧР в разных странах могут быть учтены путем внесения соответствующих изменений в специфику автоматизированного расчета.

## Список литературы

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. – Вып. 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 / Н.М. Калюжный, А.М. Попов, В.А. Ковшарь // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2013. – Ч. 1, вып. 172. – С. 160-169; Ч. 2, вып. 173. – С. 101-109.
3. Калюжный Н.М. Методический подход к оценке эффективности работы средств радиоконтроля по комплексному решению задач радиочастотного мониторинга / Н.М. Калюжный, А.И. Задонский, В.А. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2 (42). – С. 99-105.
4. Слободянюк П.В. Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра (Теория и практика построения системы радиомониторинга) / П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарный; под общ. ред. П.В. Слободянюка. – Прилуки: ООО «Издательство «Аір-Поліграф», 2010. – 296 с.
5. Система управління якістю. Виконання робіт з технічного радіоконтролю параметрів випромінювання РЕЗ (ВП). Інструкція І-3.4.3/01-09. Редакція 01. (Введена наказом УДЦР від 19.11.2009 № 522).
6. Слободянюк П.В. Довідник з радіомоніторингу / П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарний, В.С. Ступак. – Ніжин : ТОВ «Вид-во «Фспект-Поліграф», 2008. – 588 с.

Поступила в редколлегию 4.02.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Карташов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## ІНФОРМАЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВА СИСТЕМА І РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ У СМУГАХ ЧАСТОТ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

М.М. Калюжний, О.М. Попов, В.О. Ковшар

*Описується алгоритм оцінювання ефективності функціонування систем радіочастотного моніторингу з використанням різноманітних засобів радіоконтролю з комплексного вирішення основних завдань радіомоніторингу у смугах частот загального користування національного радіочастотного ресурсу. Представлена система часткових показників, на основі яких розраховуються узагальнені виробничі та інтегральні показники ефективності кожної регіональної підсистеми і системи радіочастотного моніторингу в цілому. Наводиться реалізація описаних алгоритмів у вигляді інформаційно-розрахункової системи. Розглянуто результати оцінювання ефективності функціонування системи радіочастотного моніторингу України за 2011-2013 роки з прогнозом на 2014 рік. Наводиться аналіз отриманих результатів розрахунків регіональних підсистем, на основі яких пропонуються рекомендації щодо розвитку системи.*

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

## INFORMATION AND ACCOUNTING SYSTEM AND RESULTS OF EVALUATION OF RADIOFREQUENCY MONITORING SYSTEM EFFICIENCY OF FUNCTIONING IN THE PUBLIC BANDS

N.M. Kalyuzhniy, A.M. Popov, V. A Kovshar

*It describes estimation algorithm of radiofrequency monitoring system efficiency of functioning using different types of radio control means for comprehensive solution to the main problems of radio monitoring in public bands of National radiofrequency resources. It presents the system of individual indicators, on the basis of which generalized industrial and integral performance indicators of each regional subsystems and system of radio frequency monitoring in general are calculated. It mentions implementation of the algorithms described in the form of information and settlement system. It has considered results of estimating the effectiveness of the radio monitoring system of Ukraine for the period of 2011-2013 with a forecast for 2014. Analyses of the results of calculations of regional subsystems are given based on which recommendations on development of the system proposed.*

**Keywords:** the system, a radio frequency monitoring, radio-frequency resource, effectiveness, information and settlement system, the means of radio.