

# Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація

УДК 621.396.6(03)

Н.М. Калюжный<sup>1</sup>, С.А. Галкин<sup>2</sup>, К.Н. Коржуков<sup>1</sup>, А.В. Хряпкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

<sup>2</sup> Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППИРОВКИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СО СРЕДСТВАМИ РАДИОМОНИТОРИНГА

*Представлено описание алгоритмов и программного обеспечения для математического моделирования электромагнитно-объектовой обстановки в заданном регионе. Результаты расчетов могут быть использованы для выбора мест размещения стационарных и маршрутов движения мобильных средств радиомониторинга, а также для повышения эффективности планирования и ведения радиочастотного мониторинга.*

**Ключевые слова:** информационно-расчетная система, оценка электромагнитной совместимости, радиочастотный мониторинг.

### Введение

**Постановка задачи.** Эффективность управления использованием радиочастотного ресурса во многом зависит от объективности и актуальности информации предоставляемой системой радиочастотного мониторинга (СРЧМ). Современные тенденции увеличения количества радиоэлектронных средств (РЭС), появление новых радиотехнологий, использование новых частотных диапазонов, а также необходимость контроля лицензионных и технических требований при эксплуатации РЭС предъявляют соответствующие требования к оптимизации охвата средствами радиомониторинга (СРМ) излучений РЭС по территории, частотному диапазону, во времени и обеспечения их беспомеховой работы. Эти требования должны быть учтены как на этапе планирования топологии СРЧМ, так и в процессе ведения радиомониторинга.

**Целью статьи является** разработка алгоритмов и программного обеспечения для математического моделирования электромагнитно-объектовой обстановки в заданном регионе для оценивания электромагнитной доступности (ЭМД) излучений группировок РЭС средствам радиомониторинга. Программное обеспечение предназначено для использования в информационно-расчетной системе оценивания электромагнитной совместимости средств радиомониторинга на месте их размещения [1].

### Основная часть

Оценивание радио доступности и возможности возникновения помех на входе СРМ должно производиться с учетом их характеристик, характеристик

контролируемых РЭС различных радиотехнологий, условий распространения радиоволн, рельефа, застройки местности, и т.д. Алгоритм принятия решения об электромагнитной доступности/недоступности РЭС или создания помех интермодуляции/блокирования СРМ заключается в расчете мощности сигнала на входе приемника и сравнении его со значениями, которые необходимы для принятия решения о доступности/недоступности, возможности возникновения помех интермодуляции и / или блокирования.

Мощность сигнала на входе радиоприемного устройства (РПУ) СРМ определяется выражением:

$$P_{C(П)} = P_T + \alpha_T + G(\beta_{TR}, \varepsilon_{TR}) - L_{TR}(d) - K_{П} + G(\beta_{RT}, \varepsilon_{RT}) - \alpha_R - FDR_{TR}(\Delta f), \quad (1)$$

где  $P_T$  – мощность передатчика РЭС;  $\alpha_T$  и  $\alpha_R$  – потери в антенно-фидерных трактах соответственно РЭС и СРМ;  $G(\beta_{TR}, \varepsilon_{TR})$  – коэффициент усиления антенны РЭС в направлении на СРМ;  $L_{TR}(d)$  – потери сигнала на трассе распространения радиоволн (РРВ);  $K_{П}$  – коэффициент, учитывающий потери за счет несовпадения поляризации антенн РЭС и СРМ;  $G(\beta_{RT}, \varepsilon_{RT})$  – коэффициент усиления антенны СРМ в направлении на РЭС;  $\beta_{TR}, \beta_{RT}$  – азимуты из точки стояния РЭС на СРМ ( $\beta_{TR}$ ), и из точки стояния СРМ на РЭС ( $\beta_{RT}$ );  $\varepsilon_{TR}, \varepsilon_{RT}$  – углы места из точки стояния РЭС на СРМ ( $\varepsilon_{TR}$ ), и из точки стояния СРМ на РЭС ( $\varepsilon_{RT}$ );  $FDR_{TR}(\Delta f)$  – коэффициент, учитывающий потери за счет несовпадения полос и рабочих частот излучения передатчик

РЭС и приемника СРМ. Критерием принятия решения об ЭМД является выполнение условия:

$$P_C \geq P_{R\_мин}, \quad (2)$$

где  $P_{R\_мин}$  – чувствительность РПУ СРМ.

В случае, если условие (2) не выполняется, то принимается решение о недоступности РЭС для мониторинга заданным средством.

Критерием принятия решения об электромагнитной совместимости РЭС посредством радиомониторинга является выполнение условия:

$$P_{П} \geq P_{П\_доп}, \quad (3)$$

где  $P_{П\_доп}$  – допустимая мощность помехи на входе РПУ СРМ. В случае если условие (3) не выполняется, то принимается решение о возможности помех от заданного РЭС средством радиомониторинга, т.е. условия ЭМС не соблюдаются.

Разработанный алгоритм оценки радиодоступности РЭС в укрупненном виде представлен на рис. 1. Алгоритм принятия решения о возможности возникновения на входе РПУ СРМ помех интермодуляции и/или блокирования отличается от алгоритма оценки ЭМД только уровнями, предопределяющими возможность возникновения помех интермодуляции и/или блокирования.

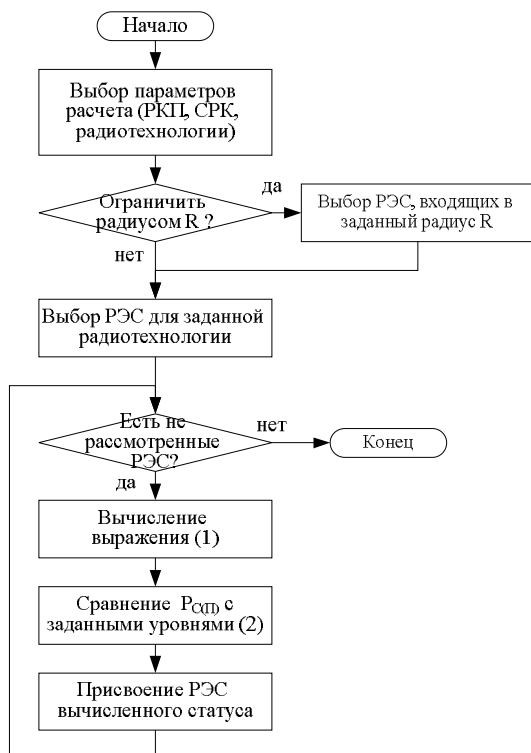


Рис. 1. Укрупненный алгоритм оценки радиодоступности РЭС

Приведенный алгоритм реализует программный модуль информационно-расчетной системы оценивания электромагнитной совместимости средств радиоконтроля на месте их расположения [1]. Модуль обеспечивает:

- выбор условий и задание параметров расчета по существующему или исследуемому СРМ;
- задание радиотехнологии;
- задание радиуса, в пределах которого будут отбираться РЭС группировки для моделирования;
- отбор РЭС, заданной технологии, в пределах заданного радиуса вокруг СРМ;
- расчет уровня потерь и/или напряженности поля, от каждого из РЭС группировки в каждой точке трассы распространения радиоволн;
- расчет мощности сигнала на входе приемника СРМ от каждого из РЭС группировки;
- принятие решения об электромагнитной доступности/недоступности для мониторинга излучений РЭС;
- принятие решения о возможности создания излучением РЭС помех интермодуляции и/или блокирования на входе приемника СРМ;
- отображение результатов расчетов на фоне электронной карты местности;
- импортирование и отображение на фоне электронной карты местности (ЭКМ) предварительно рассчитанных зон электромагнитной доступности (ЭМД) и защитных зон от помех интермодуляции и/или блокирования и сравнение их с результатами расчета радиодоступности и ЭМС СРМ.

На рис. 2 представлены основные формы интерфейса и результаты проведения расчета радиодоступности на примере СРМ типа АИК-С на посту радиомониторинга «Симферополь-2» Крымского региона по базовым станциям радиотехнологии GSM-900 в радиусе 30 км. Выбор условий проведения расчета осуществлялся с помощью выпадающего окна представленного в правой части рис. 2. После выбора условий, необходимые для проведения расчетов параметры СРМ и РЭС заданной радиотехнологии (координаты, административные данные, параметры антенн, параметры приемника СРМ, передатчика РЭС, и др.) автоматически вводятся в алгоритм расчета из соответствующих баз данных.

При запуске программы расчет мощности сигнала на входе приемника СРМ производится согласно выражению (1). Потери сигнала на трассе РРВ ( $L_{TR}(d)$ ) диапазоне частот от 30 до 3000 МГц и рассчитываются в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи Р.1546-4 [3], в диапазоне частот свыше 3000 МГц – согласно рекомендации МСЭ Р.526-12 [4]. Принятие решения об электромагнитной доступности/недоступности согласно с критерием (2), о возможности создания помех – согласно критерию (3).

По окончании расчетов окно выбора условий расчета исчезает с экрана, и на фоне ЭКМ отображаются значки выбранного СРМ и РЭС выбранной радиотехнологии, цвет и форма значков зависит от принятого решения:

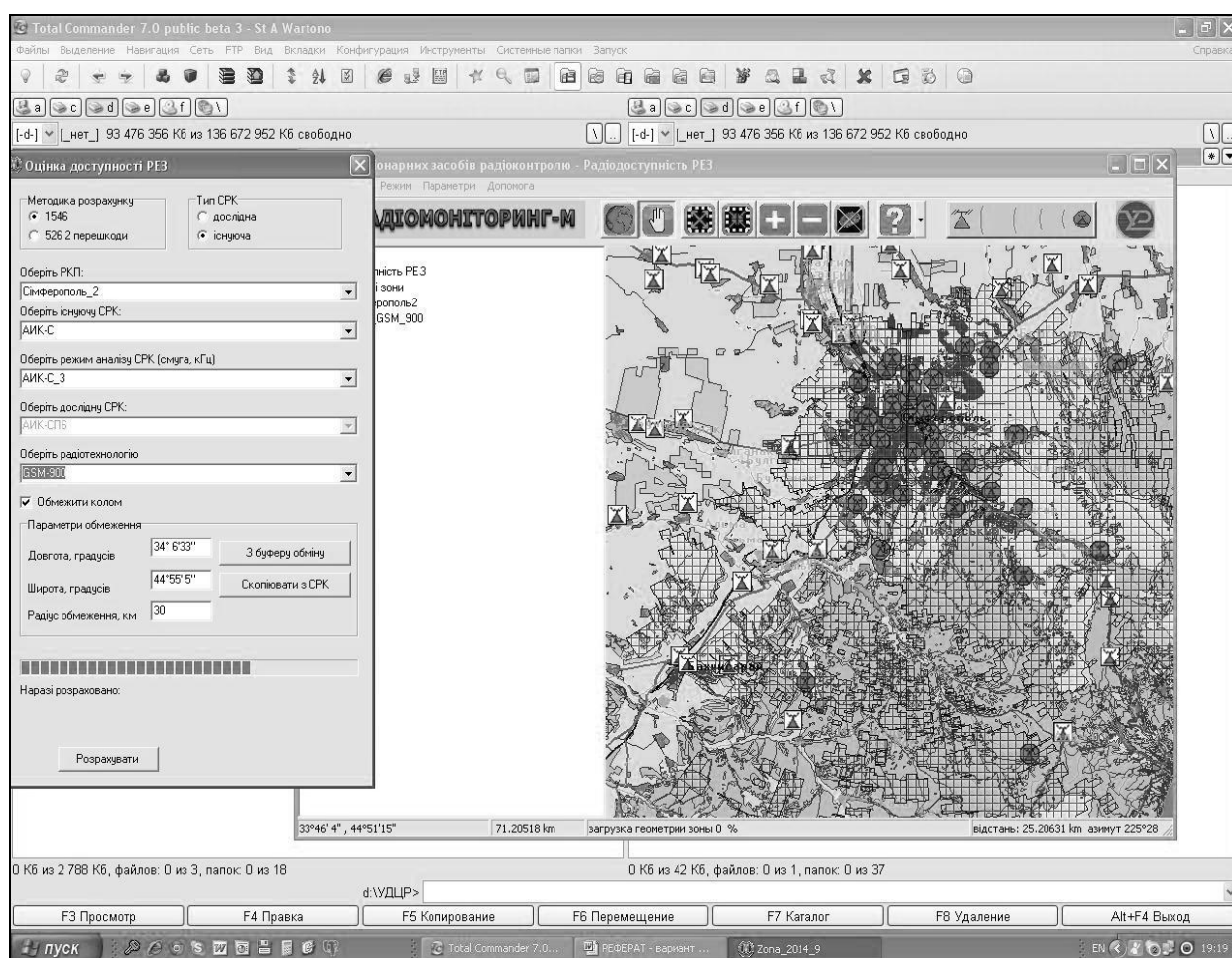


Рис. 2. Результати расчета радиодоступности средству радиомониторинга типа АИК-С радиоэлектронных средств радиотехнологии GSM-900

- в кружочке - РЭС излучения которых доступны, для решения задач радиомониторинга;
- в белом квадратике - РЭС излучения которых недоступны, для решения задач радиомониторинга;
- в серых квадратике - РЭС излучения которых могут создавать помехи интермодуляции; РЭС излучения которых могут создавать помехи блокирования; группы РЭС, антенны которых размещаются на одной мачте.

В программе предусмотрена возможность для просмотра статуса каждого из РЭС, антенны которых размещаются на одной мачте.

Разработанное программное обеспечение позволяет получить информацию в табличном виде о статусе РЭС, его технических характеристиках, размещении, владельце, проверить правильность расчетов, построив кривые напряженности поля и мощности сигнала на входе приемника СРМ. Кроме того, пользователь может импортировать предварительно рассчитанную и сохраненную зону ЭМД (штрихованная перпендикулярными линиями область на рис. 2), и наложить ее на результаты расчета радиодоступности РЭС.

При увеличении масштаба можно детально проанализировать полученные результаты на фоне

ЭКМ. На рис. 3 показан пример результатов оценки ЭМС РЭС с СРМ, по которым принято решение о возможности создания на входе приемника СРМ помех интермодуляции и блокирования. Пример иллюстрирует возможности программного обеспечения по увеличению/уменьшению масштаба.

Таким образом, разработанные алгоритмы и программное обеспечение позволяют в интерактивном режиме проводить расчет радиодоступности РЭС СРМ и электромагнитной совместимости СРМ с группировкой РЭС различного назначения, а также отображать результаты расчетов на фоне ЭКМ и в табличном виде по всей группировке РЭС заданной радиотехнологии.

## Выводы

Разработанные алгоритмы и программное обеспечение позволяют оценивать электромагнитно-объектовую обстановку как в зоне действия СРМ, так и заданном регионе.

Результаты расчетов могут быть использованы для выбора мест размещения стационарных СРМ и маршрутов движения мобильных СРМ, а также для повышения эффективности планирования и ведения радиомониторинга.

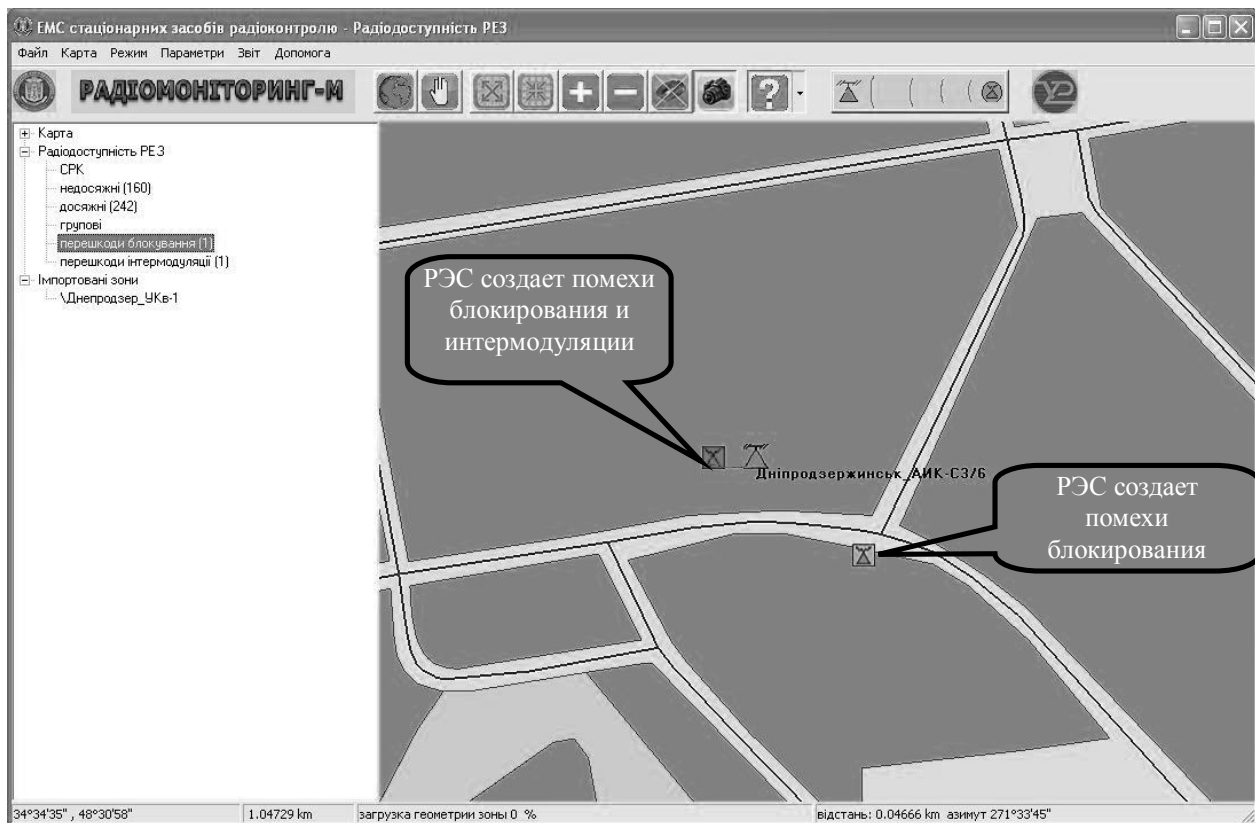


Рис. 3. Радиоэлектронные средства, которые создают помехи блокирования и интермодуляции

### Список литературы

1. Комп'ютерна програма «Інформаційно-розрахункова система оцінювання електромагнітної сумісності засобів радіоконтролю на місці їх розташування» («Зона 1.0») / Калюжний Н.М., Галкин С.А. Коржуков К.М. Попов О.М. Семенов Г.М. Чернов А.Б.. – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №53956 видане Держаною службою інтелектуальної власності України, дата реєстрації – 05.03.2014.

2. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем / Под ред. М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 376 с.

3. Рекомендация МСЭ-R P.1546. Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц. – 57 с.

4. Рекомендация МСЭ-R P.526. Распространение радиоволн за счет дифракции.- 37 с.

Поступила в редколлегию 12.03.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.А. Можаяв, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УГРУПОВАННЯ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНОМАНІТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ІЗ ЗАСОБАМИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

М.М. Калюжний, С.О. Галкин, К.М. Коржуков, О.В. Хряпкин

Представлено опис алгоритмів і програмного забезпечення для математичного моделювання електромагнітної обстановки в заданому регіоні. Результати розрахунків можуть бути використані для вибору місць розміщення стаціонарних і маршрутів руху мобільних засобів радіомоніторингу, а також для підвищення ефективності планування та ведення радіочастотного моніторингу.

**Ключові слова:** інформаційно-розрахункова система, оцінка електромагнітної сумісності, радіочастотний моніторинг.

### MATHEMATICAL MODELING OF RADIO SOURCES GROUPING OF VARIOUS PURPOSE FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY WITH ITS RADIO-MONITORING

M.M. Kalyuzhnyy, S.O. Galkin, K.M. Korzhukov, O.V. Khryapkin

An algorithm and software for mathematical modeling of electromagnetic environment of the object in a given region is represented. The results of calculations can be used to select the placement of fixed and mobile routes of Radio-monitoring facilities, as well as to improve the efficiency of planning and management of the radio frequency monitoring.

**Keywords:** information and accounting system, the estimate of electromagnetic compatibility, radio frequency monitoring.