

УДК 621.371.3

**Method of an Operative Estimation
of Radio-Electronic Conditions in Interests
of Maintenance of Reserve
and Electromagnetic Compatibility
of Radio-Electronic Means**

**Yuri L. Koziratsky,
Alexey V. Ivantsov* and Ervand A. Mamadganyan**
*Military Education and Research Centre of Military-Air Forces
«Military-Air Academy
Named After Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»
54a Starykh Bol'shevikov Str., Voronezh, 394064, Russia*

Received 15.03.2016, received in revised form 29.10.2017, accepted 04.01.2018

The method of an operative estimation of radio-electronic conditions in interests of maintenance of reserve and electromagnetic compatibility of radio-electronic means in grouping is developed. The method is based on representation in a matrix kind of components of level of unmasking radiation (inadvertent) hindrances from each radio-electronic means that has given the chance to consider individually each of operating factors and to estimate its influence.

Keywords: an estimation of radio-electronic conditions, electromagnetic compatibility.

Citation: Koziratsky Yu.L., Ivantsov A.V., Mamadganyan E.A. Method of an operative estimation of radio-electronic conditions in interests of maintenance of reserve and electromagnetic compatibility of radio-electronic means, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2018, 11(3), 256-262. DOI: 10.17516/1999-494X-0037.

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: kagan13@yandex.ru

Метод оперативной оценки радиоэлектронной обстановки в интересах обеспечения скрытности и электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств

Ю.Л. Козирацкий, А.В. Иванцов, Е.А. Мамаджанян
*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а*

Разработан метод оперативной оценки радиоэлектронной обстановки в интересах обеспечения скрытности и электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в группировке. Метод основан на представлении в матричном виде составляющих уровня демаскирующего излучения (непреднамеренных) помех от каждого радиоэлектронного средства, что дало возможность индивидуально учитывать каждый из действующих факторов и оценивать его влияние.

Ключевые слова: оценка радиоэлектронной обстановки, электромагнитная совместимость.

Современный уровень развития связи и телекоммуникаций характеризуется большой насыщенностью территории радиоэлектронными средствами (РЭС) различного назначения, имеющими высокую плотность размещения, даже одновременного размещения нескольких РЭС в одном месте [1]. Наиболее ярко это проявляется во время проведения различных массовых мероприятий (например, Олимпиады-2014), действиях МЧС при ликвидации стихийных бедствий. Вместе с тем развитие элементной базы ведет к увеличению чувствительности РЭС, а суммарная ширина используемого радиочастотного спектра (РЧС) остается неизменной. Существующие же методы борьбы с внеполосными и побочными излучениями как по основным, так и по боковым лепесткам диаграмм направленности антенны (ДНА) достигли максимума своих возможностей. Особенную сложность представляет обеспечение ЭМС группировок РЭС при воздействии естественных и искусственных помех различной природы.

К настоящему времени все РЭС локации, связи и навигации имеют возможность весьма точного определения своих координат, состояния (режима работы), характеристик и других необходимых сведений. С использованием технологий совместной обработки информации эти данные могут поступать на некоторый пункт управления, построенный на использовании достижений геоинформационных технологий и обеспечивающий на основе получаемой информации, собственного информационного обеспечения и заложенных в него алгоритмов выработку количественной информации по обеспечению электромагнитной совместимости этой совокупности РЭС и снижению общего уровня электромагнитного излучения при заданном уровне устойчивой работы группировки РЭС. Понятно, что основу такого управления должны составлять алгоритмы оценки радиоэлектронной обстановки и поиска РЭС-источников непреднамеренных помех (РЭС-ИНП) [2]. Однако существующие методики оценки ЭМС [2-4] носят преимущественно инженерную или исследовательскую направленность и слабо ориентирова-

ны на оперативное использование в условиях сложной быстроменяющейся радиоэлектронной обстановки.

Целью настоящей статьи является разработка метода оперативной оценки РЭО в интересах обеспечения скрытности и ЭМС группировки РЭС, позволяющего на основе определения уровня демаскирующего излучения (непреднамеренных помех) от каждой РЭС оперативно управлять организационными и техническими параметрами их функционирования.

Примем, что на определенной территории функционирует m РЭС, каждое из которых имеет приемное и передающее устройства, размещенные в одной точке. Все средства характеризуются априори известными параметрами размещения, включающими географические координаты x_i, y_i и высоту над уровнем моря, с учетом высоты подъема антенны z_i .

Пример взаимного размещения РЭС при $m = 6$ представлен на рис. 1.

Каждое i -е РЭС характеризуется следующими априори известными параметрами:

1) техническими параметрами РЭС:

выходной мощностью РЭС $P_{\text{вых}i}$;

амплитудной диаграммой направленности передающей антенны $F_1(\theta_{ij})$;

амплитудной диаграммой направленности приемной антенны $F_2(\theta_{ji})$;

коэффициентом усиления передающей антенны G_{1i} ;

коэффициентом усиления приемной антенны G_{2i} ;

несущей (центральной) частотой f_i ;

шириной спектра сигнала $\Delta f_{ci} = f_{vi} - f_{ni}$;

шириной полосы пропускания приемника Δf_{ni} ;

Каждая ij -я пара РЭС характеризуется следующими параметрами совместного функционирования:

расстоянием между i -м и j -м РЭС R_{ij} ($R_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2$);

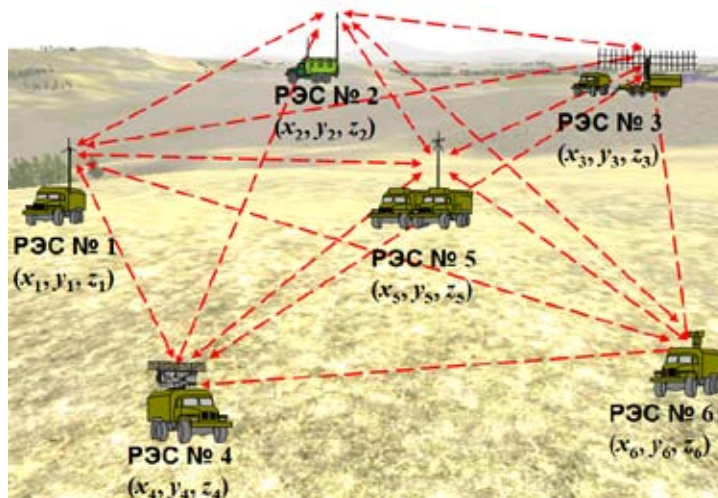


Рис. 1. Пример взаимного расположения РЭС в группировке

Fig. 1. Example of radio-electronic equipment mutual disposition in a group

коэффициентом рассогласования по поляризации $k_{ij}(\gamma)$;
 коэффициентом рассогласования по частоте $K_{ij}(f)$;
 коэффициентом затухания на трассе между i -м и j -м РЭС $T(R_{ij})$.

Коэффициенты затухания на трассе $T(R_{ij})$ определяются по известным методикам [3, 4] исходя из характеристик РЭС и профиля трасс распространения между i -м и j -м РЭС. Значение коэффициента рассогласования по поляризации $k_{ij}(\gamma)$ (от 0 до 1) определяется углом γ между направлениями поляризации непреднамеренной помехи и антенны (РЭС-ОВП).

Коэффициент рассогласования по частоте $K_{ij}(f)$ можно вычислить так:

$$K_{ij}(f) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} H^2(f) S^p(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} S^p(f) df} \tag{1}$$

Мощность сигнала i -й РЭС как источника непреднамеренных помех (РЭС-ИНП) на входе приемника j -го РЭС-объекта воздействия помех (РЭС-ОВП) на основе приведенных выше исходных данных определяется выражением [5]

$$P_{ij} = P_{\text{вых } i} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R_{ij}} \right)^2 F_1^2(\theta_{ij}) \cdot F_2^2(\theta_{ji}) \cdot G_{1i} \cdot G_{2i} \cdot T(R_{ij}) \cdot K_{ij}(f) \cdot k_{ij}(\gamma) \tag{2}$$

В случае попарной оценки рассматривается поочередное воздействие каждого РЭС-ИНП на каждое РЭС-ОВП соответственно. На основе (2) можно построить матрицу взаимного влияния следующего вида:

$$\|P_{\text{в}}\| = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1i} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2i} & \dots & P_{2m} \\ P_{j1} & P_{j2} & P_{ij} & \dots & P_{jm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mj} & \dots & P_{mm} \end{pmatrix} \tag{3}$$

где P_{ij} – мощность сигнала i -й РЭС на входе приемника j -го РЭС, определяемая выражением (2).

Очевидно, что составляющие главной диагонали матрицы должны показывать воздействие РЭС самой на себя и не будут учитываться в дальнейших расчетах. Кроме того, если i -я и j -я РЭС являются корреспондентами одной радиосети, то сигналы i -й РЭС на входе приемника j -й РЭС и, наоборот, будут не помеховыми, а полезными, и в матрице также учитываться не должны.

Таким образом, матрица (3) преобразуется к виду

$$\|P_{\text{в}}\| = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{1i} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & 0 & P_{2i} & \dots & P_{2m} \\ P_{j1} & P_{j2} & 0 & \dots & P_{jm} \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mj} & \dots & 0 \end{pmatrix} \tag{4}$$

Однако полученная матрица взаимного влияния (4) требует определенной декомпозиции для доступного представления всех параметров и характеристик, влияющих на обеспечение ЭМС группировки РЭС.

Введем следующие показатели:

K_{ij} – коэффициент частотно-поляризационного рассогласования, определяемый выражением

$$K_{ij} = \ln K_{ij}(f) \cdot K_{ij}(\gamma) = \ln(K_{ij}(f) \cdot \cos \gamma); \quad (5)$$

M_{ij} – показатель ослабления, определяемый выражением

$$M_{ij} = \ln \left(\left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R_{ij}} \right)^2 T(R_{ij}) \right); \quad (6)$$

Q_{ij} – коэффициент антенн, определяемый выражением

$$Q_{ij} = \ln(F_1^2(\theta_{ij}) \cdot F_2^2(\theta_{ji}) \cdot G_{1i} \cdot G_{2i}). \quad (7)$$

С использованием введенных показателей и с учетом свойств логарифмов выражение (2) можно преобразовать как:

$$\begin{aligned} \ln P_{ij} &= \ln \left(P_{\text{Вых } i} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R_{ij}} \right)^2 F_1^2(\theta_{ij}) \cdot F_2^2(\theta_{ji}) \cdot G_{1i} \cdot G_{2i} \cdot T(R_{ij}) \cdot K_{ij}(f) \cdot k_{ij}(\gamma) \right) = \\ &= P_{\text{Вых } i} + M_{ij} + Q_{ij} + K_{ij}. \end{aligned} \quad (8)$$

С учетом принятых обозначений матрица взаимного влияния может быть представлена в виде суммы матриц

$$\|P_{\text{в}}\|_{mm} = (\|P_{\text{Вых}}\|_{mm} + \|M\|_{mm} + \|Q\|_{mm} + \|K\|_{mm}). \quad (9)$$

Матрица (9) определяет лишь парное взаимное влияние РЭС в группировке. Однако на каждое РЭС в группировке будут воздействовать непреднамеренными помехами различной интенсивности все РЭС. Для определения суммарной мощности непреднамеренных помех необходимо осуществить потенцирование элементов матрицы (9) и последующее умножение [7]:

$$\|P_{\Sigma}\|_{1m} = \ln \left\{ \|P_{\text{в}}\|^{\Pi} \times \|J\|_{1m} \right\}. \quad (10)$$

Для принятия решения о том, совместимы РЭС или нет, осуществляется определение суммарного воздействия всех $m - 1$ РЭС на j -ю РЭС и сравнение его с допустимой пороговой величиной помехи на входе приемника i -й РЭС, которая определяет минимально допустимое для работы РЭС с требуемым качеством отношение сигнал/помеха на входе приемника РЭС. При выполнении условия $P'_{\Sigma j} < P'_{\text{пор } j}$ считают, что ЭМС выполнена, при $P'_{\Sigma j} \geq P'_{\text{пор } j}$ – ЭМС не выполнена.

На основе разработанного метода возможно составить алгоритм оценки радиоэлектронной обстановки группировки РЭС, представленный на рис. 2.

Таким образом, разработан метод оперативной оценки радиоэлектронной обстановки в интересах обеспечения скрытности и электромагнитной совместимости группировки РЭС, по-

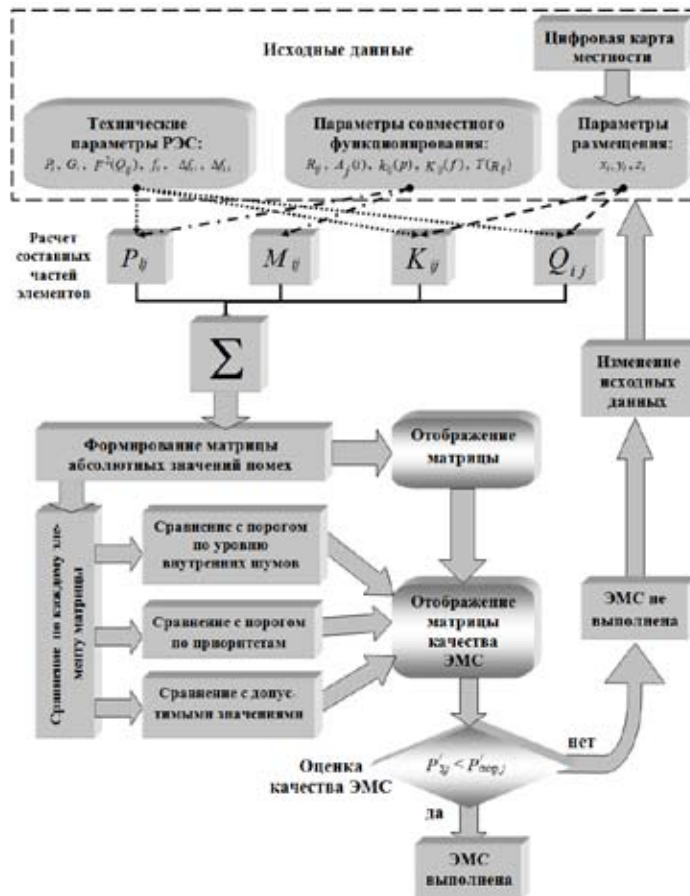


Рис. 2. Алгоритм оценки радиоэлектронной обстановки
 Fig. 2. Radio-frequency environment estimation algorithm

звolyющий на основе определения суммарного уровня взаимных непреднамеренных помех РЭС оперативно управлять организационными и техническими параметрами их функционирования. Особенностью метода является представление в матричном виде составляющих уровня непреднамеренных помех от каждой РЭС, что дало возможность индивидуально учитывать каждый из действующих факторов и оценивать его влияние, а логарифмическое преобразование позволило перейти от произведения коэффициентов к их сумме.

Список литературы

[1] *Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения*; ред. Ю.Л. Козирацкий. М.: Радиотехника, 2013. 232 с. [*Model information of the conflict of means of search and discovery*; ed. by Ju.L. Kozirazky. M., Radiotekhnika, 2013. 232 p. (in Russian)].
 [2] Козирацкий Ю.Л., Сорокин А.Д., Ступницкий М.М. Управление использованием радиочастотного спектра, *Вооружение, политика конверсия*. 1996, 5-6, 40-45. [Kozirazky Ju.L., Sorokin A.D., Stupnitsky M.M. The spectrum management, *Weapons, politics, conversion*. 1996, 5-6, 40-45. (in Russian)].

[3] *Управление радиочастотным спектром и электромагнитной совместимостью радиосистем*; ред. М.А. Быховский. М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с. [*Management of radio frequency spectrum and electromagnetic compatibility of radio systems*; edited by M.A. Bykhovsky. M., EKO-Trendz, 2006. 376 p. (in Russian)].

[4] Липатников В.А., Кулешов И.А. *Управление радиочастотным спектром*. СПб.: ВАС, 2011. 384 с. [Lipatnikov V.A., Kuleshov I.A. *Radio frequency spectrum control*. SPb., YOU, 2011. 384 p. (in Russian)].

[5] Посохин Н.И., Сонников В.Г., Максимов Ю.Н. *Радиоэлектронная борьба*. СПб.: ВКА им. Можайского, 2002. 375 с. [Posokhin N.I., Sonnikov V.G., Maksimov Yu.N. *Electronic warfare*. SPb., VKA im. Mozhaisky, 2002. 375 p. (in Russian)].

[6] *Радиолокационные антенные устройства. Справочник по радиолокации*. Пер. с англ. Т. 2; ред. М. Сколник. М.: Сов. радио, 1977. 397 с. [*Radar antenna devices. Guide to radar*. Per. from English. Vol. 2; edited by M. Skolnick. M., Sov. radio, 1977. 397 p. (in Russian)].

[7] Покорная О.Ю., Ковалева М.И. *Математика, аналитическая геометрия и линейная алгебра. Ч. I. Матрицы и определители*. Воронеж: ВАИУ, 2011. 41 с. [Pokornaya O.Yu., Kovaleva M.I. *Mathematics, analytical geometry and linear algebra. Part 1. Matrices and determinants*. Voronezh, VAIU, 2011. 41 p. (in Russian)].