

## ВЕРОЯТНОСТО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА НА РЭС

**Rodionov S.S. Probability-energy approach to the impact assessment of an interfering signal on radioelectronic installation.** It is considered space, frequency and time components of radio resources (the radio space volume) as factors that determine electromagnetic compatibility conditions for radio electronic facilities operating in a common area. Two options of determining probability in the cases of random positions of signal source and receiving antenna are considered. In the first option, position of the interfering signal source, which can have different radiation directivity patterns, is taken as random with uniform distribution law. In the second option, receiving radio electronic facility can be set up with equal probability in the whole communication area, while both transmitter and interfering source remain in the same positions. Probabilistic assessment of the energy component of the electromagnetic environment creates a possibility to amend general measures aimed at securing electromagnetic compatibility.

**Keywords:** radio frequency resource, electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, the probability of compensation, protection threshold

**Родионов С.С. Ймовірісно-енергетичний підхід до оцінки дії заважаючого сигналу на РЕС.** Розглядаються просторові, частотні і часові складові радіочастотного ресурсу як чинники, що визначають умови забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС), радіоелектронних засобів, що працюють на загальній території. Розглядаються два варіанти визначення вірогідності появи заважаючого сигналу для випадків випадкового знаходження джерела перешкод і приймальної станції. Ймовірнісна оцінка енергетичної складової електромагнітної обстановки дозволяють внести корективи до загального комплексу заходів щодо забезпечення ЕМС.

**Ключові слова:** радіочастотний ресурс, електромагнітна обстановка, електромагнітна сумісність, вірогідність придушення, поріг захисту

**Родионов С.С. Вероятностно-энергетический подход к оценке воздействия мешающего сигнала на РЭС.** Рассматриваются пространственные, частотные и временные составляющие радиочастотного ресурса как факторы, определяющие условия обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), работающих на общей территории радиоэлектронных средств. Рассматриваются два варианта определения вероятности появления мешающего сигнала для случаев случайного нахождения источника помех и приемной станции. Вероятностная оценка энергетической составляющей электромагнитной обстановки позволяют внести коррективы в общий комплекс мероприятий по обеспечению ЭМС.

**Ключевые слова:** радиочастотный ресурс, электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, вероятность подавления, порог защиты

### Постановка задачи

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) работающих в группировке радиоэлектронных средств (РЭС) как одно из основных условий их эффективного функционирования, рассмотрим на основе оценки радиочастотного ресурса (РЧР) этих средств. Указанный ресурс для конкретных РЭС при заданных параметрах их излучения и приема определяется мерой использования некоторого объема радиопространства  $V_R$ , образованного расположением РЭС в пространстве  $S$ , полосой занимаемых частот  $B$ , временем функционирования  $T$ .

Эффективное решение задачи ЭМС сводится к определению минимально возможного значения объема РЧР  $V_R = SBT$ , рациональному перераспределению значений составляющих в объеме  $V_R$ , повышению электромагнитной эффективности РЭС (выбору соответствующих параметров излучения и приема).

Указанная задача решается в настоящее время в предположении априорно известных исходных данных, постоянной или меняющейся по известному детерминированному закону ЭМО, что в общем случае не отвечает реалиям работы РЭС.

### Оценка электромагнитной совместимости РЭС

С учетом динамически изменяющейся по случайному закону ЭМО, подход к оценке и обеспечению ЭМС РЭС необходимо проводить с вероятностных позиций.

Такой подход определяется такими факторами как:

- случайным включением в работу радиосредств, а также источников индустриальных помех;
- перемещением радиосредств по территории и изменением их взаимного расположения;
- непредусмотренными нормами перехода РЭС на новые частоты, виды модуляции, временные режимы работы в случае появления дополнительных источников излучения и по другим причинам;
- изменением уровней сигналов и помех из-за распространения радиоволн в пространстве;
- изменением энергетических и иных показателей работы передающей и приемной аппаратуры РЭС из-за отклонения в ней параметров от номинальных значений;
- случайной ориентацией диаграммы направленности (ДН) радиосредств и их пространственным сканированием.

Рассмотрим условия нарушения функционирования приемной аппаратуры РЭС. Подавление РЭС помехой будет иметь место, если энергетические, пространственные, частотные и временные параметры мешающего сигнала будут в совокупности иметь значения, при которых отношение мощностей  $P_{n \text{ вых}}/P_{c \text{ вых}}$  на выходе окончного устройства приемника будет превышать пороговое значение  $K_{n \text{ вых}}$ .

Вероятностная оценка выполнения этого условия по обеспечению соответствующего уровня мощности помехи определяется выражением

$$P_{nn} = P_{nd} P_{nn} P_{nc} P_{ne}, \quad (1)$$

где:  $P_{nn}$  – вероятность значения мощности помехи на выходе приемника, при которой нарушается работа РЭС;

$P_{nd}$  – вероятность того, что расстояние между рассматриваемым РЭС и источником помехи удовлетворяет необходимым (по энергетике) условиям подавления;

$P_{nn}$  – вероятность того, что антенные системы станции помех и РЭС имеют значение общего коэффициента усиления для создания на входе приемника уровня помехи, достаточной для нарушения работы РЭС;

$P_{nc}$  – вероятность попадания помехи в полосу пропускания РЭС;

$P_{ne}$  – вероятность совпадения временных режимов работы станции помех и РЭС.

Определим энергетическую составляющую выражения (1)

$$P_{ne} = P_{nd} P_{nn} \quad \text{для } P_{nc}=1; P_{ne}=1$$

для следующих исходных данных (рис. 1):

1. Источник помех может равновероятно находиться в любой точке на линии АВ, отстоящей от линии ПРД–ПРМ на различном удалении ΔХ, и иметь ДН излучения: круговую, широконаправленную и остронаправленную с круговым вращением антенны.

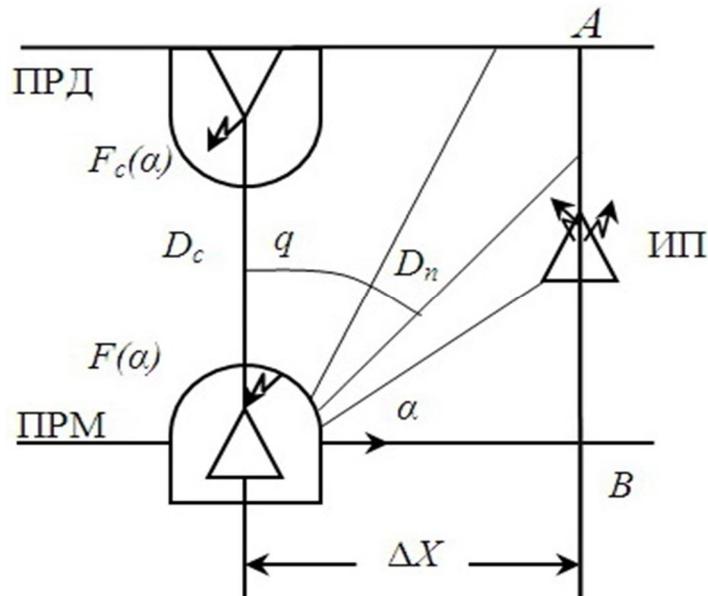


Рис. 1. Взаимное положение источников полезного сигнала, помехи и приемной станции

2. Оценка воздействия помехи производится по отношению мощностей помехи и сигнала  $\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}}$  на входе приемника.

3. Вероятность  $P_{nz}$  определяется как [2]

$$P_{nz} = \frac{\Delta q^\circ}{180^\circ}, \quad (3)$$

где  $\Delta q^\circ$  – диапазон углов, при котором  $\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}} \geq K_{\text{нор}}$ .

Отношение  $P_{n\text{ex}}/P_{c\text{ex}}$  в азимутальной плоскости равно [3]

$$\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}} = \frac{P_n G_n F_n^2(\alpha_{np}) \lambda^2 G F^2(\alpha_n)}{(4\pi D_n)^2} \cdot \frac{(4\pi D_c)^2}{P_c G_c F_c^2(\alpha_{nc}) \lambda^2 G F^2(\alpha_c)},$$

где  $P_n$  и  $P_c$  – мощности передатчиков помехи и рабочей станции;

$G_n F_n(\alpha)$  и  $G_c F_c(\alpha)$  – коэффициенты направленного действия и нормированные ДН помеховой и рабочей станции;

$G F(\alpha)$  – соответствующие параметры антенны приемной станции;

$D_n$  и  $D_c$  – дальности между передатчиками и приемником РЭС;

$\alpha_{np}$ ,  $\alpha_n$ ,  $\alpha_c$  – углы взаимной ориентации ДН приемной и передающих станций.

(Примечание: ослабление радиоволн при распространении в атмосфере считаем незначительным и равным нулю).

Обозначая  $P_n G_n = P'_n$  и  $P_c G_c = P'_c$ , а также считая  $F_c(\alpha_{nc})=1$  и  $F(\alpha_c)=1$ , имеем:

$$\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}} = \frac{P'_n F_n^2(\alpha_{np}) F^2(\alpha_n)}{P'_c} \cdot \frac{D_c^2}{D_n^2}. \quad (3)$$

Определим  $P_{n\text{ вх}}/P_{c\text{ вх}}$  для следующих исходных данных:

$$P_{n\text{ вх}}/P_{c\text{ вх}}=K_{\text{нор}}; \quad K_{\text{нор}}=1; 0,75; \quad P'_n/P'_c=1;$$

$$F(\alpha)= \begin{cases} \cos \alpha & \text{при } \alpha \leq \left| \frac{\pi}{2} \right|, \\ 0 & \text{при } \alpha > \left| \frac{\pi}{2} \right|; \end{cases}$$

$$\Delta X = \frac{D_c}{K}; \quad D_n = \frac{D_c}{K \sin q}; \quad K=2; 3.$$

I. ДН антенны источника помех круговая ( $F_n(\alpha)=1$ ). В соответствии с (3)

$$\frac{P_{n\text{ вх}}}{P_{c\text{ вх}}} = K^2 \cos^2 q \sin^2 q; \quad K=2; 3.$$

II. ДН антенны источника помех  $F_n(\alpha)=\cos \alpha$  и ее максимум направлен в сторону приемника РЭС по оси АВ.

$$\frac{P_{n\text{ вх}}}{P_{c\text{ вх}}} = K^2 (\cos^2 q)^2 \sin^2 q; \quad K=3.$$

На рис. 2 представлены зависимости  $P_{n\text{ вх}}/P_{c\text{ вх}}$  от угла  $q$  (см. рис. 1), характеризующего взаимное положение источника помех и приемной станции, для случаев:

- а) ДН станции помех круговая,  $K=2$ ;
- в) ДН станции помех круговая,  $K=3$ ;
- с) ДН станции помех косинусообразная,  $K=3$ .

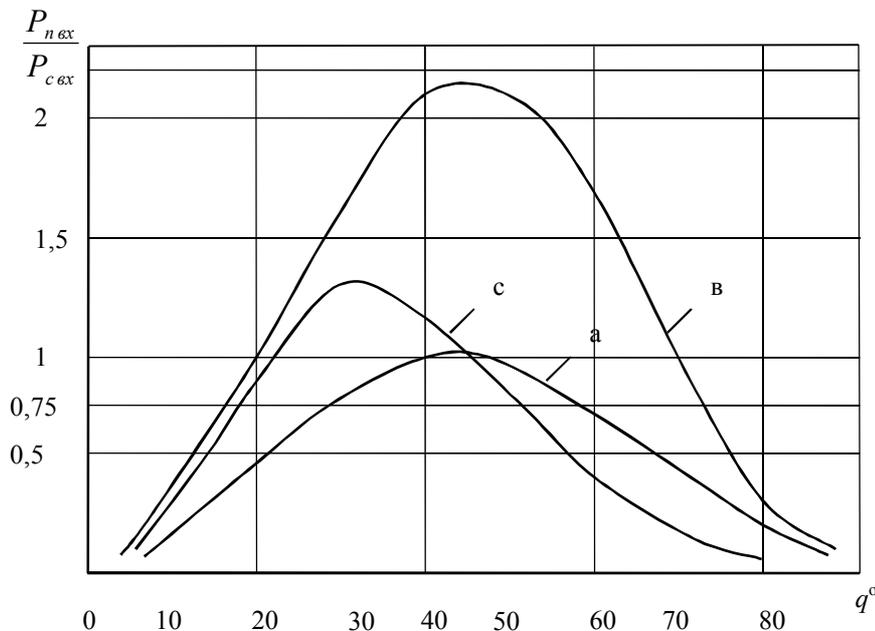


Рис. 2. Зависимости  $P_{n\text{ вх}}/P_{c\text{ вх}}$  от угла  $q^\circ$

Условием нарушения работы РЭС является

$$\frac{P_{n\text{ вх}}}{P_{c\text{ вх}}} > K_{\text{нор}}; \quad K_{\text{нор}}=1; 0,75.$$

В соответствии с выражением (2) и зависимостями  $P_{n\text{ex}}/P_{c\text{ex}}=f(q)$ , приведенными на рис. 2, в табл. 1 даны значения вероятностей  $P_{эн}$  нарушения работы РЭС, определяемые возможным положением источника помех.

Табл. 1

$K_{нор}$ \ $K$	$F_n(\alpha)=1$		$F_n(\alpha)=\cos \alpha$
	2	3	3
0,75	0,166	0,316	0,183
1	0,04	0,277	0,116

**III.** При круговом вращении антенны источника мешающего сигнала (например, для РЛС, работающей в режиме кругового обзора) на вход приемника РЭС будет воздействовать периодическая последовательность помеховых сигналов, которая характеризуется [4]:

– длительностью импульсов  $\tau_n = \frac{\alpha_{um}}{\Omega_n}$ , где  $\alpha_{um}$  – ширина ДН станции помех,

$\Omega_n$  – угловая частота вращения антенны станции помех;

– частотой следования  $F_n = \frac{\Omega_n}{2\pi}$ ;

– вероятностью времени появления  $P_b = \frac{\tau_n}{T_n}$ .

Мощность этих сигналов, в зависимости от положения источников помех, определяется аналогично варианту I.

Рассмотрим вариант определения  $P_{нэ}$  при перемещении приемной РЭС и неизменном положении передатчика и источника помех (рис. 3).

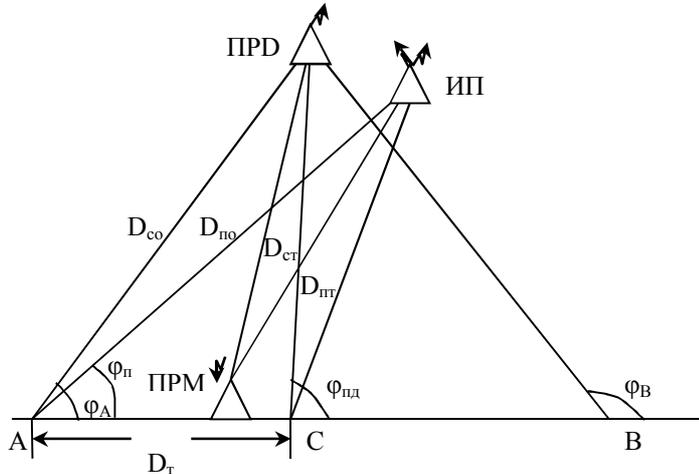


Рис.3. Взаимное положение источников полезного сигнала, помехи и приемной станции, которая находится равновероятно в диапазоне AB.

Определим  $P_{нэ}$  при следующих исходных данных.

1. Приемная станция может находиться равновероятно в любом месте дальности AB в диапазоне углов пеленга передатчика  $\varphi_A$  и  $\varphi_B = (180^\circ - \varphi_A)$ , при которых  $P_{c\text{ex}} \geq P_{min}$ , где  $P_{min}$  – чувствительность приемника.

2. Вероятность  $P_{нэ}$  определяется как  $P_{нэ} = \frac{\Delta\varphi_{нд}}{\varphi_B - \varphi_A}$ , где  $\varphi_{нд}$  – диапазон углов, при

котором  $\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}} \geq K_{нор} = 1$ .

При круговых ДН ИП, ПРД и ПРМ и равенстве излучаемых мощностей  $P_c$  и  $P_n$  в соответствии с (3) имеем  $\frac{P_{n\text{ex}}}{P_{c\text{ex}}} = \frac{D_c^2}{D_n^2}$ .

Граница зоны подавления  $\Delta\varphi_{nd}$ , с которой начинается выполнение условия  $P_{n\text{ex}}/P_c \geq 1$ , определяется углом  $\varphi_{nd}$ , при котором  $D_{cT} = D_{nT}$ .

Из геометрических соотношений рис. 3 имеем:

$$\begin{aligned} D_{cT}^2 &= D_{co}^2 + D_T^2 - 2D_{co}D_T \cos \phi_A, \\ D_{nT}^2 &= D_{no}^2 + D_T^2 - 2D_{no}D_T \cos \phi_n. \end{aligned} \quad (4)$$

С учетом  $D_{cT} = D_{nT}$  и при определении известных исходных данных находится дальность  $D_{\square}$ , с которой начинается подавление полезного сигнала помехой.

$$D_T = \frac{D_{no}^2 - D_{co}^2}{2(D_{no} \cos \varphi_n - D_{co} \cos \varphi_A)}.$$

Значение  $\varphi_{nd}$  найдем из соотношения  $\frac{D_{cT}}{\sin \varphi_A} = \frac{D_{co}}{\sin \varphi_{nd}}$ , откуда  $\varphi_{nd} = \arcsin \frac{D_{co} \sin \varphi_A}{D_{cT}}$ ,

где  $D_{cT}$  находится из соотношений (4).

Искомое значение вероятности  $P_{nz} = \frac{\Delta\varphi_{nd}}{\varphi_B - \varphi_A} = \frac{180^\circ - \varphi_A - \varphi_{nd}}{180^\circ - 2\varphi_A}$ .

**В заключение** отметим, что вероятностная оценка энергетической составляющей, как и других компонент ЭМО, определяющих воздействие мешающего сигнала на РЭС, позволяет внести коррективы в общий комплекс мероприятий по обеспечению ЭМС способствует оптимальному распределению ресурсов при решении этой задачи [5].

### Литература

1. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход / В.И. Борисов, В.М. Зинчук. – Москва : Радио и связь, 1999. – 252 с.
2. Абчук В.А. Поиск объектов / В.А. Абчук, В.Г. Суздаль. – Москва: Сов. радио, 1977. – 336 с.
3. Комиссаров Ю.А. Помехоустойчивость и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Ю.А. Комиссаров, С.С. Родионов. – Київ, «Техніка», 1978. – 208 с.
4. Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – Москва : Сов. радио, 1968. – 448 с.
5. Куприянов Л.Н. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы : учебное пособие / Л.Н. Куприянов, А.В. Сахаров. – Москва : Вузовская книга, 2007. – 356 с.

### Автор статті

**Родіонов Сергій Сергійович** – кандидат технічних наук, професор кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (99) 064 61 58. E-mail: rodionov1934@mail.ru

### Authors of the article

**Rodionov Serhiy Serhiyovych** – candidate of sciences (technical), professor at radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +380 (99) 064 61 58. E-mail: rodionov1934@mail.ru.

Дата надходження в редакцію: 27.12.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Дружинін В.А.