

УДК 621.396.6.019.3:621.391.004.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ РЛС С РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ

В.Е. ЕМЕЛЬЯНОВ

Предложена модель оценки характеристик обнаружения РЛС при воздействии импульсных помех. Приведен алгоритм определения приемлемых условий электромагнитной обстановки при непреднамеренных электромагнитных помехах для РЛС УВД.

Ключевые слова: радиолокационная станция, помеха, характеристики обнаружения, алгоритм определения зон ЭМС.

В реальных условиях функционирования РЛС ограничения, определяемые частотно-территориальным ресурсом, вызывают усложнение электромагнитной обстановки, что, в свою очередь, приводит к ухудшению характеристик обнаружения. В данной работе рассматривается модель оценки приемлемой ситуации ЭМС РЛС в случае возникновения непреднамеренных электромагнитных помех.

В работе [1] для случая обнаружения когерентной пачки k -импульсного сигнала с внутримпульсной модуляцией, имеющего l -позиционную композицию, для помехи с известными статистическими характеристиками можно записать:

$$P_{л.т.} = \exp \left\{ -\frac{U_0^2}{2kl(1-\psi)} \right\}, \quad (1)$$

$$\psi = \frac{1}{kl(1-\psi)(1+q\psi)} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi \exp \left\{ \frac{\psi^2 + q[lk(1-\psi)^2]}{2kl(1-\psi)(1+q\psi)} \right\} I_0 \left(\frac{\sqrt{q\psi}}{1+q\psi} \right), \quad (2)$$

где q - отношение сигнал/помеха на входе тракта; U_0 - порог обнаружения; ψ - вероятность поражения импульсной помехой одной из позиций сигнала; $I_0 \left(\frac{\sqrt{q\psi}}{1+q\psi} \right)$ - функция Бесселя.

Если статистические характеристики помехи неизвестны, то, используя аппроксимирующее выражение для плотности вероятности совместного распределения помехового и шумового сигнала, приведенные в [1], запишем:

$$W_{V+N} = \left[\frac{\exp(-j)}{\sqrt{2\pi[(1+\gamma)]^{-1}}} \right] \exp \left\{ [-x^2(1+\gamma)] \left[\frac{1-\exp(j)}{\sqrt{2\pi[(1+\gamma)]^{-1}}} \right] \right\} \exp \left[-\frac{x^2 j}{2(1+\gamma+j)} \right], \quad (3)$$

где $\gamma = \delta_v^2 / \delta_0^2$ - отношение помеха/шум по мощности; j - индекс импульсивности; $x = \delta / (\sqrt{\delta_v^2 + \delta_0^2})$ - нормированная постоянная.

С учетом (3) выражение для плотностей вероятностей амплитуд сигнального распределения будет иметь вид:

$$W_{S+V+N} = \left[\frac{\exp(-j)}{\sqrt{\frac{2\pi}{1+\gamma}}} \right] \exp \left\{ [-(x-S)^2(1+\gamma)] + \left[\frac{1-\exp(-j)}{\sqrt{\frac{2\pi}{1+\gamma}}} \right] \exp \left[-\frac{(x-S)^2 j}{2(1+\gamma+j)} \right] \right\}, \quad (4)$$

где S - амплитуда сигнала.

Интегрируя выражения (3) и (4), получим искомые выражения для характеристик обнаружения. С учетом представления неполной гамма-функции в виде, приведенном в [2], будем иметь:

$$P_{n.o.} = \frac{1}{\Gamma[\pi(x-s)]} * \frac{\exp(-j)}{\sqrt{2\pi(1+\gamma)^2}} \int_{\frac{u_0}{(1-\gamma)^2}}^{\infty} x^{k-1} \exp\left[-\frac{(x-s)^{-2}}{(1+\gamma)^{-1}}\right] dx, \quad (5)$$

$$P_{л.м.} = \frac{1}{\Gamma(x)} \frac{\exp(-j)}{\sqrt{2\pi[(1+\gamma)^{-2}]}} \int_{\mu_0/(1-\gamma)^2}^{\infty} x^l \exp\left[-\frac{x^2}{(1+\gamma)^{-1}}\right] dx, \quad (6)$$

где $P_{п.о.}$ и $P_{л.т.}$ - вероятности правильного обнаружения и ложных тревог соответственно.

Модель помеховых сигналов представим в виде:

$$V_0(t) = \sum_i a \alpha_i \exp[-\mu(t - t_i)] \delta(t - t_i), \quad t \in (-\infty, \infty) \quad (7)$$

где a и μ - некоторые неслучайные постоянные; $\{i\}$ - последовательность целых чисел; t_i - распределенные по закону Пуассона моменты времени появления импульсов; α_i - независимая от i амплитуда импульса в момент времени t_i ; δ - функция Хевисайда.

Обозначим через Λ интенсивность помех. Одномерная характеристическая функция $f(u)$ процесса (7) определяется из выражения:

$$\begin{aligned} f(u) &= \exp\left\{\Lambda \int_{|v|>\alpha}^{\infty} \int_0^{\infty} [\exp(iu\alpha \cdot e^{-ut}) - 1] dt dF(v)\right\} = \\ &= \exp\left\{\frac{\Lambda}{\mu} \left[\int_{|v|} [\varepsilon_i(inv\alpha) - \ln|ux\alpha|] dF(V) - cv \frac{i\pi}{2} \right]\right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\varepsilon_i(inv\alpha)$ - интегральная показательная функция; c - постоянная Эйлера.

Ввиду различной удаленности потенциальных источников помех с различной мощностью излучения можно считать, что функция вероятности значений амплитуд непреднамеренных помех (НЭМП) имеет экспоненциальное распределение, т.е.:

$$F(V) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{V}{\alpha}\right), & V > 0, \quad \alpha > 0, \\ 0, & V \leq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Подставляя (9) в (10), мы получаем характеристическую функцию процесса и далее, осуществив необходимые преобразования, получаем модель импульсной помехи, имеющей гамма-распределение с плотностью вероятности:

$$(v \leq \tilde{V}) = \begin{cases} \frac{v^{-1+\frac{\Lambda}{\mu}} \exp\left(-\frac{v}{\alpha}\right)}{\Gamma\left(\frac{\Lambda}{\mu}\right) (\alpha\alpha)^{\frac{\Lambda}{\mu}}} & v > 0, \\ 0 & v \leq 0. \end{cases} \quad (10)$$

Конечную характеристическую функцию процесса (7) определим с учетом (9) и (10), будем иметь:

$$f(V_1, V_2; t, t + \Delta t) = \left\{ \frac{1 - ja\alpha a_2 \exp(-\mu \Delta t)}{[1 - ia\alpha a_1 - ia\alpha a_2 \exp(-\mu \Delta t)](1 - a\alpha a_2)} \right\}^{\Lambda/\mu}, \quad \Delta t > 0 \quad (11)$$

Считая, что имеется несколько источников помех (d) вида (7), можно записать выражение для входного помехового сигнала приемо-анализирующего тракта РЛС, имеющего характеристическую функцию вида:

$$fr(u) = \prod_{d=1}^r \left(1 - ia\alpha u^{\sum_{d=1}^r \frac{\Lambda d}{\mu}} \right) = \left(1 - ia\alpha u^{1 - \frac{\Lambda}{\mu}} \right), \quad (12)$$

Для РЛС УВД характерно построение приемного тракта, вычисляющего отношение правдоподобия, которое с учетом (10) можно представить в виде:

$$Q(V_1, \dots, V_n) = \exp\left(\frac{1}{a\alpha} \sum_{n=1}^N S_n\right) \prod_{n=1}^N \left[\frac{(V_n - S_n)}{V_n} \right]^{-1 + \frac{\Lambda}{\mu}}, \quad \Lambda \neq \mu \quad (13)$$

Обозначим через $B = ia\alpha u^{1 - \Lambda/\mu}$, а через R - дальность обнаружения цели, запишем характеристики обнаружения следующим образом:

$$P_{n.o.} = \frac{\Gamma\left[\frac{\Lambda}{\mu}, RB(1-B)\right]}{\Gamma\left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)}, \quad (14)$$

$$P_{л.т.} = \frac{\Gamma\left[\frac{\Lambda}{\mu}, \frac{R}{1-B}\right]}{\Gamma\left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)}. \quad (15)$$

Соотношения (1), (2) и (5), (6) позволяют рассчитать характеристики обнаружения в случае когерентной и некогерентной обработки сигналов, соответственно.

При использовании для оценки ЭМС критерия Неймана-Пирсона вида ($P_{o.б.} - \nu_0 P_{л.т. max}$), где ν_0 - коэффициент, зависящий от цены ложной тревоги и пропуска цели, а также от вероятности наличия цели, будем считать, что пороговое значение характеристик обнаружения известны (определяются нормами ИСАО на параметры обнаружения РЛС соответствующего типа) и равны $P_{л.т.}^*$ и $P_{п.о.}^*$, соответственно.

Следовательно, можно определить зоны обеспечения ЭМС, когда наблюдается допустимое изменение рассматриваемых параметров. Для этого был разработан алгоритм решения задачи нелинейного программирования, использующий метод множителей Лагранжа.

На рисунке представлен пример расчета указанных зон для случая влияния РЛС типа "АТСР-22" на РЛС типа "Скала-М" при отношении сигнал/шум $q_0 = 10$ и помеха/шум $q = 10$ по мощности.

В качестве критерия использовался коэффициент защитного отношения ($Z_{защ.}$) вида:

$$Z_{защ.} = \frac{q_0 \rho_{n.c.} \left\{ \frac{\lg[P_{n.o.} - (\Delta P_{n.o.})_{дон.}]}{\lg P_{л.т.} - 1} \right\}}{1 - \lg[P_{n.o.} - (\Delta P_{n.o.})_{дон.}](1 - q_0) / \lg P_{л.т.}},$$

где $\rho_{n.c.}$ - корреляционная функция помехи и сигнала; $(\Delta P_{n.o.})_{дон.}$ - допустимое снижение вероятности правильного обнаружения.

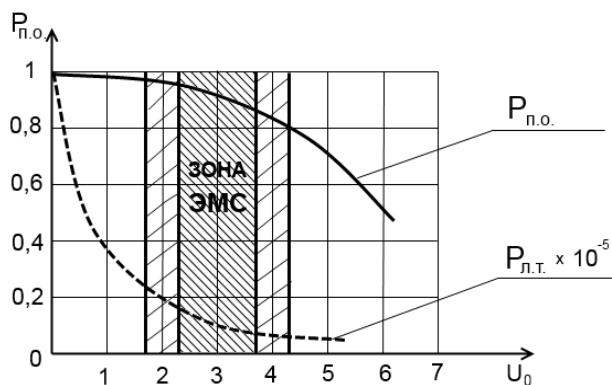


Рисунок. Зона ЭМС РЛС «Скала-М» и «АТСР-22»

Разработанный алгоритм позволяет производить априорную оценку ЭМО в районе аэропорта и на ее основании разрабатывать рекомендации по использованию РЛС в конкретных эксплуатационных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.Е. Оценка характеристик обнаружения РЛС при воздействии помех от однотипных систем // Научный вестник МГТУ ГА. 2000. № 24. С. 126–132.
2. Справочник по математике для научных работников и инженеров // Г. Корн – Т. Корн. – М: Наука, 1978.

PERFORMANCE EVALUATION OF THE RADAR DETECTION WITH VARIOUS METHODS INFORMATION PROCESSING INTERFERENCE

Emelyanov V.E.

A model of evaluation of the characteristics of radar detection when exposed to impulse noise. An algorithm for determining the acceptable conditions of electromagnetic environment with unintentional electromagnetic interference for ATC radars.

Key words: radar station, interference, detection characteristics, algorithm for determining of Electromagnetic Compatibility zone.

REFERENCES

1. Emelyanov V.E. Evaluation of characteristics of radar detection under the influence of interference from similar systems // Nauchnyy vestnik MSTUCA. 2000. N 24. P. 126-132.
2. Mathematical Handbook for scientists and engineers // G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1978.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Емельянов Владимир Евгеньевич, 1951 г.р., окончил КИИГА (1974), доцент, доктор технических наук, профессор кафедры основ радиотехники и защиты информации МГТУ ГА, автор более 100 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация радиоэлектронных систем, функционирующих в сложной электромагнитной обстановке.