УДК 621.396

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ВНУТРЕННИХ ШУМОВ И АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

Винт Ту Аунг, магистрант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь

Дмитренко А.А. – канд. техн. наук, доцент каф. ИСиТ

Аннотация. Работа содержит методику расчета спектральной плотности мощности внутренних шумов радиоприемной аппаратуры РЛС, а также спектральной плотности мощности активных шумовых помех для случаев их постановки как по главному лепестку ДНА РЛС, так и по боковым лепесткам ДНА РЛС.

Ключевые слова. Активные шумовые помехи, внутренний шум, коэффициент шума, шумовая температура, диаграмма направленности антенны.

Введение. Воздействие активных шумовых помех (АШП) на РЛС значительно снижает ее возможности по обнаружению целей. Расчет численных значений спектральной плотности мощности (СПМ) внутренних шумов и АШП являются необходимыми этапами для оценки степени влияния воздействия АШП на РЛС обзора, а также для оценки эффективности работы адаптивных алгоритмов подавления активных шумовых помех в радиолокационных станциях обзора.

Основная часть. С учетом аддитивности модели радиолокационного фона РЛС обзора СПМ шумов складывается из СПМ внутренних и суммы СПМ внешних источников АШП [1-3]:

$$N_h = N_0 + \sum_{j=1}^{J} N_{a_j}, \tag{1}$$

где J – количество внешних источников АШП; N_0 – СПМ внутренних шумов приемника; N_{a_j} – СПМ j–го независимого источника АШП.

Спектральная плотность мощности внутренних шумов.

Любое радиоприемное устройство обладает собственными внутренними шумами. Уровень внутренних шумов накладывает ограничение на максимальную дальность действия РЛС. Работая в режиме усиления, радиолокационный приемник усиливает в наибольшей степени шумы антенны, в том числе поступающие из окружающего пространства, а также шумы своих первых каскадов.

Для обеспечения возможности количественной оценки степени влияния шумов различного происхождения в радиотехнике часто применяют понятие шумовая температура $T_ш$, равное температуре, до которой должен быть нагрет резистор, согласованный с входным сопротивлением электронного устройства, чтобы мощность тепловых шумов этого устройства и резистора были равными в определенной полосе частот. Возможность введения такого понятия обусловлена пропорциональностью средней мощности шума (среднего квадрата шумового напряжения на электрическом сопротивлении) абсолютной температуре резистора.

Шумы, вызываемые действием антенны и первых каскадов приемника (линейной его частью), мысленно заменяют шумами резистора, подключенного на вход приемника и разогретого до температуры $T_ш$, после чего приемник считается нешумящим. Это позволяет сопоставлять сигналы и шум на входе приемника, пересчитывая к нему шумы антенны и шумы каскадов приемника (с учетом эффекта их последующего усиления).

СПМ внутренних шумов N_0, нагретого до $T_ш$ резистора, составляет:

$$N_0 = kT_ш, \tag{2}$$

где k = 1,38·10^{-23} Вт·с/град – постоянная Больцмана.

Таким образом, шумовая температура $T_ш$ учитывает все перечисленные шумы.

Далее, характеризуя влияние самого приемника на величину внутренних шумов, вводят коэффициент шума $K_ш$ приемника, который является отношением мощности шума на выходе реального усилителя к мощности шума в той же точке, если бы использовался идеальный (не добавляющий собственной шумовой мощности) усилитель:

$$K_ш = \frac{P_{ш_{реал}}}{P_{ш_{ид}}}, \tag{3}$$

Коэффициент шума является безразмерной величиной и часто выражается в децибелах. Из самого определения следует, что коэффициент шума идеального (не шумящего) усилителя $K_ш$ = 1 (0 дБ).

Коэффициент шума является шумовой характеристикой приемника без реальных свойств антенны и окружающего ее пространства. Он измеряется после замены антенны на эквивалент при комнатной температуре $T_{норм}$ = 293,0° ≈ 290° *K*. Тогда коэффициент шума приемника определяется как отношение измеренного значения шумовой температуры приемника $T_{шРПрУ}$ к $T_{норм}$:

$$K_ш = \frac{T_{шРПрУ}}{T_{норм}}. \quad (4)$$

Спектральная плотность мощности внутренних шумов приемника N_0 выражается через $K_ш$ следующим образом:

$$N_0 = kT_{норм}(K_ш - 1), \quad (5)$$

где

$$(K_ш - 1) = \frac{\left(T_{шРПрУ} - T_{норм}\right)}{T_{норм}}. \quad (6)$$

Шумы, вызываемые действием антенны, учитывают добавляя в формулу (5) спектральную плотность мощности $N_{ант} = k \cdot T_{ант}$:

$$N_0 = kT_{норм}(K_ш - 1) + kT_{ант}, \quad (7)$$

где $T_{ант}$ – шумовая температура антенны с учетом шумов антенны.

Шумовая температура антенны часто оценивается величиной $T_{ант}$ ≈ 290° *K*. Тогда для практических расчетов выражение (7) упрощается:

$$N_0 = kK_ш T°(K), \quad (8)$$

где $T°(K) \approx 290°$ *K*.

Спектральная плотность мощности активных шумовых помех.

Спектральная плотность мощности $N_а$ активных шумовых помех определяется с учетом значения модуля нормированной диаграммы направленности антенны РЛС в направлении на постановщика АШП. Антенна постановщика АШП, как правило, имеет слабую направленность, поэтому влияние АШП на РЛС можно учитывать только через ее коэффициент направленного действия. Значение $N_а$ определяется следующим образом:

$$N_a = \frac{P_ш G_ш G_{РПрУ} \lambda^2}{(4\pi)^2 r_ш^2 \Delta f_ш} g(\beta_a - \beta_ш, \varepsilon_a - \varepsilon_ш), \quad (9)$$

где $P_ш$ – мощность АШП на выходе передатчика помех; $G_ш$ – КНД антенны постановщика помех; $\Delta f_ш$ – ширина спектра АШП; $r_ш$ – дальность до постановщика АШП; $\beta_ш$ – азимут постановщика АШП; $\varepsilon_ш$ – угол места постановщика АШП; $G_{ПРрУ}$ – коэффициент направленного действия антенны РЛС; $g(\beta, \varepsilon)$ – значение нормированной ДНА РЛС по мощности в направлении на постановщик АШП.

Вместо $P_ш$ часто используют параметр $N_ш$ [Вт/Гц]:

$$N_ш = \frac{P_ш}{\Delta f_ш}. \quad (10)$$

Для практических расчетов значимыми являются случаи:

- постановки АШП по основному лепестку ДНА РЛС;
- постановки АШП по боковым лепесткам ДНА РЛС.

На рисунке 1 показаны ДНА РЛС и ДНА постановщика АШП в азимутальной плоскости в случае постановки АШП по основному лепестку ДНА РЛС. В этом случае считается, что $g(\beta_a - \beta_ш, \varepsilon_a - \varepsilon_ш) \approx 1$, тогда:

$$N_a = \frac{N_ш G_ш G_{РПрУ} \lambda^2}{(4\pi)^2 r_ш^2}. \quad (11)$$

На рисунке 2 показаны ДНА РЛС и ДНА постановщика АШП в азимутальной плоскости в случае постановки АШП по боковым лепесткам ДНА РЛС, где средний уровень боковых лепестков ДНА РЛС:

$$\eta_{\text{РПрУ}} = \frac{g_{\text{ср}}(\beta,\varepsilon)}{g(\beta,\varepsilon)}. \quad (12)$$

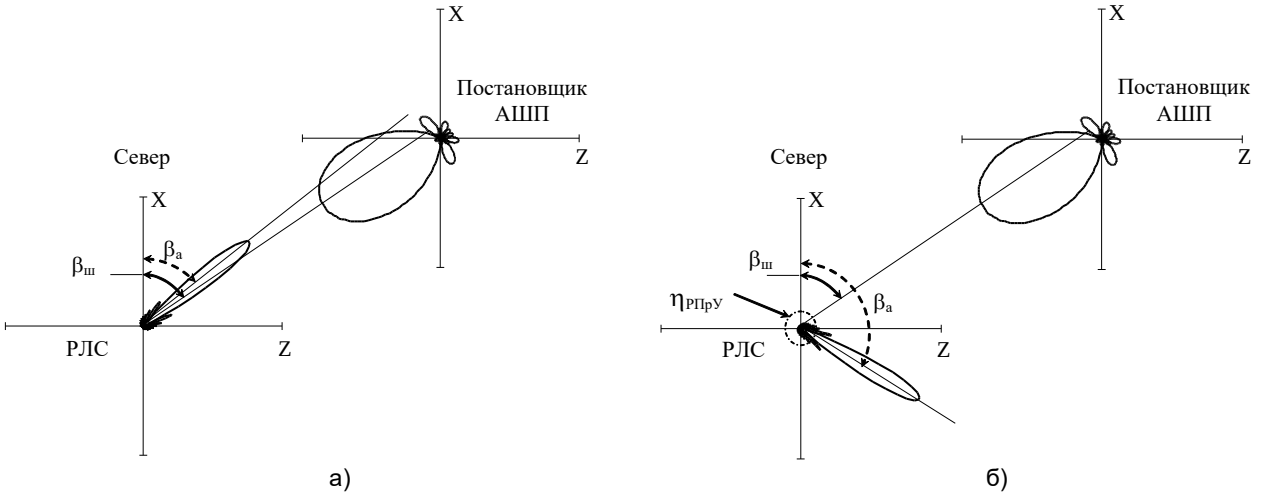

Рисунок 1 – Постановка АШП по основному лепестку (а) и по боковым лепесткам (б) ДНА РЛС

Спектральная плотность мощности АШП по боковым лепесткам ДНА РЛС записывается в следующем виде:

$$N_{a_{\text{бок}}} = \frac{N_{\text{ш}} G_{\text{ш}} G_{\text{РПрУ}} \lambda^2}{(4\pi)^2 r_{\text{ш}}^2} \eta_{\text{РПрУ}}. \quad (13)$$

Заключение. Представленная в настоящей работе методика расчета спектральной плотности мощности внутренних шумов и активных шумовых помех позволяет с высокой степенью достоверности осуществлять оценку степени влияния воздействия АШП на РЛС обзора, а также оценку эффективности работы адаптивных алгоритмов подавления активных шумовых помех в радиолокационных станциях обзора.

Список использованных источников:

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория : справочник / [Я. Д. Ширман и др.] ; под ред. Я. Д. Ширмана. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Радиотехника, 2007. - 510 с.

2. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Тяпкина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2011. – 536 с.

3. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч.1. Основы радиолокации: Учеб. для высших училищ ПВО. М.: Воен. издат, 1983. – 456 с.

UDC 621.396

METHOD OF CALCULATING INTERNAL NOISE AND ACTIVE NOISE INTERFERENCE SPECTRAL POWER DENSITY

Wint Thu Aung

Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dmitrenko A.A. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Annotation. The work contains a methodology for calculating the spectral power density of internal noise of radar radio receiving equipment, as well as the spectral power density of active noise interference for cases of their setting both along the main lobe of the radar antenna directional pattern and along the side lobes of the radar antenna directional pattern.

Keywords. Active noise interference, internal noise, noise coefficient, noise temperature, antenna pattern.