

ОЦЕНКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОЛИНИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ С РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА

д.т.н., проф. Стасев Ю.В., Коломиец А.С., Лаврут А.А.

Рассматривается возможность использования больших слабокоррелированных сложных сигналов в декаметровый радиосети управления и решение вопросов повышения помехозащищенности декаметровый радиосети при использовании сигналов с псевдослучайной перестройкой радиочастоты (ППРЧ).

К настоящему времени в радиолиниях управления широкое применение нашли сложные широкополосные сигналы, построенные на основе линейных рекуррентных последовательностей максимального периода (ЛРПМ) [1,2]. Выбор этого класса сложных сигналов обусловлен простотой реализации устройств формирования, а также хорошими периодическими автокорреляционными свойствами. Вместе с тем ЛРПМ обладают неудовлетворительными ансамблевыми, структурными и взаимокорреляционными свойствами, что снижает имитостойкость и помехозащищенность радиолиний управления. Кроме того, ЛРПМ могут быть построены только для длительностей $L = 2^m - 1$, где m – степень образующего полинома, и являются неоптимальными по аperiodическим корреляционным функциям.

В условиях воздействия помех обеспечение требуемых значений помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиосети управления возможно при использовании в радиосети сигналов с ППРЧ, как эффективного метода противодействия разведке и подавления системы связи.

Пусть в декаметровый радиосети используются сложные ППРЧ сигналы. Тогда при оценки помехозащищенности радиолинии необходимо рассматривать два режима работы: режим обнаружения (синхронизации) и режим различения сигналов. Количественно режим обнаружения характеризуется вероятностью ложного приема сигнала $P_{лс}$ и вероятностью пропуска сигнала $P_{пр}$. Связь этих вероятностей с энергетическими характеристиками сигнала, полагая что число интервалов неопределенности при поиске равно N , имеет вид [3] при известной фазе

$$P_{пр} = \beta \cdot \left(\sqrt{\frac{E_c}{N_0}} - \sqrt{2 \ln \frac{N}{P_{лс}}} \right), \quad (1)$$

где $\beta(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x \exp(-t^2) dt$, а E_c/N_0 – отношение энергии сигнала к спек-

тральной мощности помехи, при неопределенности по фазе

$$\frac{E_c}{N_0} = \left(\sqrt{\ln \frac{N}{P_{лс}}} + \sqrt{\ln \frac{1}{P_{пп}} - 1.4} \right)^2. \quad (2)$$

В режиме различения сигналов качество различения характеризуется вероятностью ошибки при когерентной обработке

$$P_{ош} = 1 - \beta \left(\sqrt{\frac{2E_c}{N_0}} \right), \quad (3)$$

а при некогерентной обработке

$$P_{ош} = 0.5 \exp \left(-\frac{E_c}{2N_0} \right). \quad (4)$$

Выражения (1–4) позволяют оценить помехозащищенность радиолиний при воздействии заградительных и сосредоточенных помех.

При использовании в радиолиниях сигналов с ППРЧ с учетом действия шумов и преднамеренных помех вероятность ложного приема сигнала запишется в виде

$$P_{лс} = P_i (P_c + P_m) + (1 - P_i) P_{ош}, \quad (5)$$

где P_i – априорная вероятность попадания преднамеренной помехи в разрешенный в данный момент времени частотный диапазон; P_m – условная вероятность приема ложного сигнала при воздействии преднамеренной помехи в канале при отсутствии сигнала; P_c – условная вероятность переименования сигнала при воздействии на него преднамеренной помехи и шума.

Для вычисления P_c требуется найти плотность распределения вероятностей случайной величины, характеризующей амплитуду напряжений на входе некогерентного приемника. Условная плотность распределения вероятностей напряжений на входе некогерентного приемника, где действует полезный сигнал, преднамеренная помеха и шум есть обобщенная рэлеевская плотность, а плотность на выходе канала, где действует шум, простая рэлеевская.

Для вычисления P_m необходимо найти плотности распределения напряжений на входе канала, где действует преднамеренная помеха и канала, где ее нет. Оба эти распределения – обобщенные рэлеевские.

Безусловная плотность распределения вероятности напряжений на входе приемника имеет вид

$$\omega_x(y) = \int_0^{E_c + E_n R} \int_{E_c - E_n R}^{E_c + E_n R} \omega \left(\frac{\alpha}{R} \right) \int_{\alpha}^{\infty} \omega \left(\frac{y}{\alpha} \right) dy d\alpha dR, \quad (6)$$

где $\omega(\alpha/R)$ – плотность распределения вероятности случайной величины α ; R – степень корреляции; $\omega(y/\alpha)$ – условная плотность вероятности; E_c и E_n – энергия полезного и помехового сигналов; $\alpha = 0$ при $y > 0$ и $\alpha = -y$ при $y < 0$.

В [4] показано, что распределение косинуса разности фаз, независимо и равномерно распределено на интервале $[-\pi; \pi]$, эквивалентно распределению косинуса равномерно распределенной случайной величины на интервале $[-\pi; \pi]$:

$$\omega(x) = \frac{1}{\pi} \sqrt{1-x^2}, \quad (7)$$

С учетом этого:

$$\omega\left(\frac{\alpha}{R}\right) = \frac{\alpha}{\pi E_c E_n R \sqrt{1 - \frac{\alpha^2 - E_c^2 - E_n^2 R^2}{2E_c E_n R}}}; \quad (8)$$

$$\omega\left(\frac{y}{\alpha}\right) = \int_{\alpha}^{\infty} \frac{x}{\sigma_0^2} \exp\left(-\frac{x^2 + \alpha^2}{2\sigma_0^2}\right) I_0\left(\frac{x_0 \alpha}{\sigma_0^2}\right) \frac{x+y}{\sigma_0^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_0^2}\right) dx, \quad (9)$$

где σ^2 – дисперсия распределения; I_0 – функция Бесселя нулевого порядка.

Подставив (8), (9) в (6) и проведя ряд преобразований, получим

$$P_c = \frac{N_0}{4\pi} \sqrt{\frac{2\pi}{E_c E_n}} \exp\left(-\frac{E_c}{2N_0}\right) \left\{ \sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}} \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}}\right) - \sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}} \times \right. \\ \left. \times \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}}\right) + \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left(-\frac{E_n + E_c}{2N_0}\right) - \exp\left(\frac{E_c - E_n}{2N_0}\right) \right] \right\}, \quad (10)$$

где $\Phi(x)$ – интеграл вероятности.

Условная вероятность приема ложного сигнала P_m определяется аналогично:

$$P_m = 1 - \frac{N_0}{3} \frac{\exp\left(-\frac{E_c}{2N_0}\right)}{\sqrt{2\pi E_c E_n}} \left\{ \left(\sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}} \right)^3 \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}}\right) - \left(\sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}} \right)^3 \times \right. \\ \left. \times \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}}\right) + \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{E_n + E_c}{N_0} \exp\left(-\frac{E_n + E_c}{2N_0}\right) - \frac{E_n - E_c}{N_0} \exp\left(\frac{E_c - E_n}{2N_0}\right) \right] \right\}. \quad (11)$$

Подставив (4), (10) и (11) в (5) получим

$$\begin{aligned}
P_{лс} = P_i & \left\langle \frac{N_0}{4\pi} \sqrt{\frac{2\pi}{E_c E_n}} \exp\left(-\frac{E_c}{2N_0}\right) \left\{ \sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}} \times \right. \right. \\
& \times \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}}\right) - \sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}} \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}}\right) + \\
& \left. \left. + \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left(-\frac{E_n + E_c}{2N_0}\right) - \exp\left(\frac{E_c - E_n}{2N_0}\right) \right] \right\} + \right. \\
& + 1 - \frac{N_0}{3} \frac{\exp\left(-\frac{E_c}{2N_0}\right)}{\sqrt{2\pi E_c E_n}} \left\{ \left(\sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}} \right)^3 \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n + E_c}{N_0}}\right) - \right. \\
& \left. - \left(\sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}} \right)^3 \Phi\left(\sqrt{\frac{E_n - E_c}{N_0}}\right) + \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \times \right. \\
& \left. \left. \times \left[\frac{E_n + E_c}{N_0} \exp\left(-\frac{E_n + E_c}{2N_0}\right) - \frac{E_n - E_c}{N_0} \exp\left(\frac{E_c - E_n}{2N_0}\right) \right] \right\} \right\rangle + \\
& + (1 - P_i) \exp\left(-\frac{E_c}{2N_0}\right).
\end{aligned} \tag{12}$$

Проведенный анализ вероятности навязывания ложного сигнала при передаче информации ППРЧ сигналами позволяет сделать вывод, что вероятность навязывания зависит от метода обработки и соотношения мощности сигнала и помехи на элементе ППРЧ сигнала и количества выставляемых помех. При этом наиболее опасными являются случаи, когда соотношение мощностей сигнала и помехи равно 1. Если это отношение меньше 1, то вероятность навязывания ППРЧ сигнала определяется вероятностью попадания помехи на разрешенную рабочую частоту. Таким образом, разрешение вопросов повышения помехозащищенности радиотехнического управления на физическом уровне достигается при реализации динамической смены форм сигналов и использовании сигналов ППРЧ с улучшенными ансамблевыми и корреляционными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Применение сложных сигналов в командно-телеметрических радиотехнических линиях* / Ю.В. Стасев, И.Д. Горбенко, Б.И. Макаренко и др. // *Космическая наука и технология*. – 1997. – Т.3, №5/6. – С. 104 - 108.
2. *Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации* / Г.И. Тузов, И.Ф. Урядников, В.И. Прытков и др. – М.: Радио и связь, 1993. – 384 с.
3. *Пестряков В.Б. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации*. – М.: Сов. радио, 1973. – 243 с.

4. Пышкин И.М. Теория кодового разделения сигналов. – М.: Связь, 1980. – 384 с.

Поступила 29.04.2002

СТАСЕВ Юрий Владимирович, доктор техн. наук, профессор, начальник факультета ХВУ. Окончил ХВВКИУ в 1981 году. Область научных интересов – защита информации в автоматизированных системах управления и сетях.

КОЛОМИЕЦ Андрей Сергеевич, адъюнкт. В 1998 году окончил КВИУС. Область научных интересов – защита информации в автоматизированных системах управления и сетях.

ЛАВРУТ Александр Александрович, адъюнкт ХВУ. В 1998 году окончил ХВУ. Область научных интересов – системы связи.
