

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСТАНЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХ

А. Х. Абед, В. М. Жуков

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; crems@crems.jesby.tstu.ru*

Ключевые слова: помехозащищенность; радиопомехи; радиоразведка; радиосвязь; радиостанция; радиоэлектронное противодействие.

Аннотация: Рассматриваются технические методы повышения эффективности радиосвязи, связанные с помехозащищенностью. Рассмотрены методы повышения помехозащищенности и помехоустойчивости приведены факторы, их формирующие. В качестве наиболее опасных помех, воздействующих на работу радиостанции, выделены ретранслирующие.

Анализ показывает, что опасной для радиостанции является ретранслированная помеха. Корреляционная функция полезного сигнала и ретранслированной помехи принимает большие значения по сравнению со значениями для помехи псевдослучайной последовательности и гармонической помехи. Варианты кодирования источника информации принципиально не влияют на помехоустойчивость радиостанций при действии указанных помех.

Постоянное совершенствование средств радиоразведки (**РР**) и радиопомех (**РП**), внедрение автоматизированных комплексов радиоэлектронного противодействия (**РЭП**) привело за последние годы к существенному повышению возможностей вероятного противника по радиоподавлению коротковолновых и ультракоротковолновых (**КВ-УКВ**) радиостанций (**РС**) средней мощности. С учетом этого становится весьма сложной задача обеспечения устойчивой радиосвязи в условиях РЭП. Успешное ее решение невозможно без принятия специальных технических и организационных мер защиты от радиоразведки и радиопомех.

Технические методы повышения эффективности радиосвязи в условиях РЭП направлены на повышение их разведо- и помехозащищенности.

Для повышения помехозащищенности в существующих РС используются те же методы, что и для борьбы со случайными станционными помехами. Основными из них являются:

- частотно-разнесенная передача и прием;
- связь через удаленный ретранслятор;
- применение компенсаторов помех и высокоскоростных модемов;
- метод группового использования частот;
- применение широкополосных сигналов.

В общем случае электронное подавление включает два последовательных этапа – техническую разведку и противодействие. Применительно к радиостанциям целью технической разведки является установление факта передачи информации

между объектами и определение параметров сигналов. Противодействие – создание таких условий, которые затруднили бы работу РС или привели к срыву выполнения задачи. Критерий помехозащищенности РС может быть представлен в следующей форме

$$P_{\text{ПМЗ}} = 1 - P_p P_n, \quad (1)$$

где P_p – вероятность разведки параметров сигналов; P_n – вероятность нарушения работы РС.

По результатам анализа возможностей современных средств технической разведки можно утверждать, что в формуле (1) практически всегда $P_p = 1$. Тогда (1) можно представить в виде

$$P_{\text{ПМЗ}} = 1 - P_n = P_{\text{ПМУ}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ПМУ}}$ – вероятность выполнения РС задачи в условиях подавления (критерий помехоустойчивости).

Формула (2) верна для случая, когда перед технической разведкой не ставится задача раскрытия смысла передаваемой информации, а только обнаруживается сигнал – носитель информации. Величина P_n является количественной мерой помехоустойчивости РС при действии на нее помех.

Помехоустойчивость зависит от сочетания большого числа факторов: формы полезного сигнала, вида (формы) помехи, ее интенсивности, структуры приемника, применяемых способов борьбы с помехами и т.д.

Помехоустойчивость РС по отношению к имитирующим помехам разного вида с различной степенью близости к полезному сигналу во многом определяется взаимно и автокорреляционными характеристиками рассматриваемых сигналов и их функцией неопределенности. Практика электронного подавления показывает, что эффективность имитирующих помех зависит от тактики их применения и степени раскрытия структуры полезного сигнала средствами технической разведки. Важным фактором структуры скрытности являются разнообразие и особенности ансамбля полезного сигнала.

Информационная скрытность РС определяется способностью противостоять мерам, направленным на раскрытие смысла передаваемой с помощью сигналов информации. Раскрытие смысла передаваемой информации означает отождествление каждого принятого сигнала с той командой, которая передается. Наличие априорной и апостериорной информации делает эту задачу вероятностной, а в качестве меры информационной скрытности выступает вероятность раскрытия смысла передаваемой информации $P_{\text{инф}}$ при условии, что сигнал обнаружен и выделен [1].

Таким образом, на помехозащищенность $P_{\text{ПМЗ}}$ РС влияют следующие существенные факторы: вид сигнала, являющегося физическим носителем информации и обеспечивающим спектральную и энергетическую эффективность; структура сигнала, обеспечивающего структурную и информационную скрытность; методы и алгоритмы преобразования сигнала в передатчике и приемнике, обеспечивающие устойчивость к воздействию организованных помех.

Критерий помехозащищенности РС, учитывающий основные факторы влияния, имеет вид

$$P_{\text{ПМЗ}} = 1 - P_n - P_{\text{стр}} P_{\text{инф}} P_n, \quad (3)$$

где $P_{\text{стр}}$, $P_{\text{инф}}$ – вероятности раскрытия структуры и смысла передаваемой информации соответственно.

Исходные условия, при которых необходимо обеспечить требуемый уровень помехозащищенности РС, следующие: противоборствующей стороне – организатору радиоэлектронного подавления (криптоаналитику) известны: пространствен-

ные координаты передатчиков и приемников сигналов; частотный диапазон работы радиоканала РС; структура передаваемой информации; обмен информацией между объектами осуществляется непрерывно; вероятность организованного противодействия практически равна единице. В этих условиях выбор сигнала для радиоканала РС определяется, исходя из спектральной и энергетической эффективности, а не из маскирующих свойств, так как местонахождение объектов известно. Наилучшими характеристиками в этом смысле обладают модулированные сигналы с непрерывной фазой.

В общем виде сигнал, манипулированный фазой (**МНФ**) на k тактовом интервале, можно записать следующим образом

$$S(t, C_k) = A_0 \cos \left\{ \omega_0 t + 2\pi \sum_{i=1}^k C_i h_i q[t - (i-1)T] + \varphi_0 \right\}, \quad t \in [(k-1)T, kT], \quad (4)$$

где A_0 – амплитуда сигнала; h_i – индекс модуляции на i -м тактовом интервале; ω_0 – несущая частота разного вида; φ_0 – начальная фаза; $C_k = [C_1, C_2, \dots, C_k]$ – вектор m -х информационных символов, принимающих одно значение из ряда $C_i = \pm 1; \pm 3; \dots; \pm(m-1)$; $q(t)$ – фазовый импульс (**ФИ**) длиной L тактовых интервалов.

Длина L ФИ является одной из наиболее важных характеристик, определяющих свойства сигнала; при $L=1$ сигнал МНФ принято называть сигналом с полным откликом, а при $L \geq 2$ – сигналом с частичным откликом.

Среди большого разнообразия сигналов МНФ наибольшую известность приобрели сигналы (для $t \in [0, LT]$), которые могут быть использованы в РС:

$q(t) = t/2LT$ – прямоугольный;

$q(t) = [1 - \cos(\pi t/LT)]/4$ – полупериод синусоиды;

$q(t) = t/2LT - [\sin(2\pi t/LT)]/4\pi$ – приподнятый косинус.

Вид ФИ напрямую определяет спектральные характеристики сигнала МНФ, в частности, скорость B_S спада внеполосного излучения. Наряду с белым шумом в радиоканале РС могут присутствовать организованные помехи. Наиболее вероятными помехами, учитывая условия функционирования РС, следует считать:

$S_{\text{пр}}(t) = A_{\text{п}} \cos(\omega_0 t + \varphi)$ – гармоническую;

$S_{\text{п ПСП-ФМ}}(t) = A_{\text{п}} a_k^m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ – сигнал с бинарной фазовой манипуляцией псевдослучайной последовательностью (**ПСП-ФМ**);

$$S_{\text{пр}}(t) = A_{\text{п}} \cos \left\{ \omega_0(t - \tau) + 2\pi \sum_{i=1}^k C_i h_i q[(t - \tau) - (i-1)T] + \varphi \right\} - \text{ретранслиро-}$$

ванную, где $A_{\text{п}} = \mu A_0$ – амплитуда помехи; μ – относительная интенсивность помехи; a_k^m – случайный бинарный символ помехи ПСП-ФМ длительностью $T_{\text{п}} = T/M$; M – относительная скорость манипуляции помехи; τ – задержка ретранслированной помехи.

В источнике [2] приведены результаты анализа помехоустойчивости оптимального демодулятора сигнала МНФ с глубиной решения N тактовых интервалов при воздействии трех указанных организованных помех. Считалось, что несущие частоты полезных сигналов и организованных помех совпадают. Анализ проводился с использованием евклидова расстояния между точками концов векторов соответствующих информативных сигналов.

Евклидово расстояние между сигнальными точками D_{ab} рассчитывалось по формуле

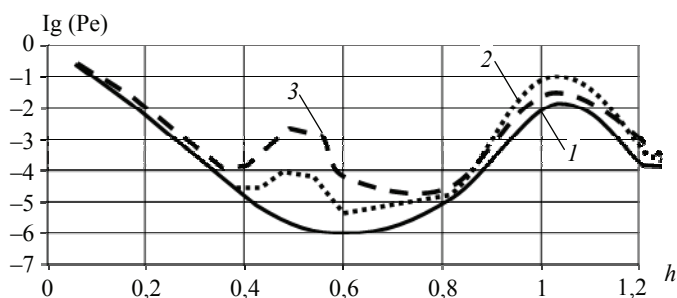


Рис. 1. Вероятность ошибочного распознавания сигнала при действии организованных помех:

1 – в беспомеховой ситуации; 2 – при действии (ПСП-ФМ)-помехи; 3 – при действии ретранслированной помехи

$$D_{ab} = \int_0^{NT} S_a(t)S_b(t)dt = \left(A_0^2/2\right) \int_0^{NT} \left\{1 - \cos \left[2\pi \sum_{i=1}^N (C_a - C_b)h_i q\right] [t - (i-1)T]\right\} dt, \quad (5)$$

где векторы информационных символов C_a и C_b обязательно отличаются первыми позициями. Анализ проводился при отношении сигнал/шум $2E/N_0 = 20$ и относительной интенсивности той или иной помехи $\mu = 0,2$, число тактовых интервалов принималось оптимальным $N = 3$. На рисунке 1 показана вероятность ошибочного распознавания сигнала в виде приподнятого косинуса при действии организованных помех.

Проведенный анализ показывает, что наиболее опасной для РС является ретранслированная помеха. Это обусловлено тем, что корреляционная функция полезного сигнала и ретранслированной помехи принимает большие значения по сравнению со значениями для ПСП-ФМ и гармонической помехи. Необходимо заметить, что различные варианты кодирования источника информации принципиально не влияют на помехоустойчивость РС при действии указанных помех.

Список литературы

1. Жуков, В. М. Оперативное определение воздействия помех в каналах связи / В. М. Жуков // Радиотехника. – 2006. – № 5. – С. 92 – 94.
2. Жуков, В. М. Особенности приема ортогональных многопозиционных сигналов в многолучевых каналах связи / В. М. Жуков, И. Г. Карпов, Г. Н. Нурутдинов // Радиотехника. – 2006. – № 5. – С. 86 – 88.

The Analysis of Radio Station Noise Immunity under the Influence of Transmission Noise

A. Kh. Abed, V. M. Zhukov

*Department "Design of Radio and Microprocessor Systems", TSTU;
crems@crems.jesby.tstu.ru*

Keywords: electronic countermeasures; immunity; methods; noise; radio; radio-frequency noise; radio station.

Abstract: The paper considers technical methods to improve the efficiency of radio communication under the influence of noise. The authors explore the methods to improve noise immunity and noise resistance of radio stations, and analyze the factors

influencing them. Retransmission noise produces the most harmful influence on the work of a radio station.

The analysis showed that retransmission noise is dangerous for a radio station. The correlation function of the desired signal and retransmission noise has bigger values compared to the values of pseudo-random noise and harmonic noise. Coding options for information source do not affect the noise immunity of radio stations under the action of the given kind of noise.

References

1. Zhukov V.M. Operativnoe opredelenie vozdeistviya pomekh v kanalakh svyazi [Operative Determination of Interference Effects in Communication Channels], *Radiotekhnika* [Radiotechnics], 2006, no. 5, pp. 92-94. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Zhukov V.M., Karpov I. G., Nurutdinov G.N. Osobennosti priema ortogonal'nykh mnogopozitsionnykh signalov v mnogoluchevykh kanalakh svyazi [Features of Reception of Orthogonal Multiitem Signals in Multibeam Liaison Channels], *Radiotekhnika* [Radiotechnics], 2006, no. 5, pp. 86-88. (In Russ., abstract in Eng.)

Analyse der Übertragungsstabilität des Radiosenders bei der Einwirkung der organisierten Störungen

Zusammenfassung: Es werden die technischen Methoden der Erhöhung der Effektivität der Funkverbindung, die mit der Störfestigkeit verbunden sind, betrachtet. Es werden die Methoden der Erhöhung der Störfestigkeit und der Übertragungsstabilität angegeben und untersucht, es sind die sie formierenden Faktoren angeführt. Als die gefährlichsten Störungen, die auf die Arbeit des Radiosenders einwirken, sind die weiterleitenden Störungen ausgewählt.

Die Analyse zeigt, dass für den Radiosender die weitergeleitete Störung gefährlich ist. Die Korrelationsfunktion des nützlichen Signals und der weitergeleiteten Störung übernimmt die großen Bedeutungen im Vergleich zu den Bedeutungen für die Störung der pseudozufälligen Reihenfolge und der harmonischen Störung. Die Varianten der Kodierung der Quelle der Information beeinflussen die Übertragungsstabilität der Radiosender bei der Handlung der angegebenen Störungen grundsätzlich nicht.

Analyse de l'immunité de la station de radio lors de l'influence des bruits parasites organisés

Résumé: Sont examinées les méthodes techniques d'amélioration de l'efficacité des radiocommunications relatives à la protection contre les bruits parasites. Sont indiquées et analysées des méthodes d'augmentation de la protection contre les bruits parasites et de l'immunité; sont mentionnés les facteurs qui les forment. Les plus dangereux bruits parasites sont ceux de retransmission. Les moyens pour coder la source de l'information n'influencent pas principalement sur l'immunité des stations de radio lors de l'action de ces interférences.

Авторы: *Абед Ахмед Хассан Абед* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Жуков Валентин Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Шамкин Валерий Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».