

УДК 621.391

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ КАНАЛОВ РАДИОСВЯЗИ С ДИСКРЕТНЫМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦИИ

*д-р техн. наук, проф. С.В. ДВОРНИКОВ, А.А. ГУЛИДОВ, Я.А. ДОМБРОВСКИЙ*  
(Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург);  
*С.В. ЛАВРОВ, канд. техн. наук Д.С. РЯБЕНКО*  
(Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты обоснования по выбору в качестве показателя оценки эффективности подавления радиоканалов уточненного значения коэффициента подавления. К выбору значения коэффициента подавления предложено подходить исходя из помехоустойчивости сигнальной конструкции, используемой для передачи информации. Приведены аналитические расчеты, подтверждающие правомерность такого заключения, и данные компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, коэффициент подавления, радиоканал.

**Введение.** Широкое применение в системах радиосвязи сигналов с дискретными видами модуляции стимулировало к поиску показателей оценки их эффективности в условиях деструктивных воздействий различной природы. Традиционный подход [1], базирующийся на расчете энергетического превосходства помехи над сигналом, является довольно грубым инструментом анализа, поскольку он в большей степени дает качественную оценку допустимого превышения, после которого система радиосвязи не способна выполнять свои функции по предназначению.

Вместе с тем данный вопрос имеет практическую ценность, в частности для систем контроля интенсивности физических полей и систем активного мониторинга, в обязанности которых входит и нарушение работы несанкционированных источников радиоизлучений [2]. В этом случае подобный показатель мог бы использоваться при рациональном распределении ограниченного энергетического ресурса. Рассмотрению данного вопроса как раз и посвящена настоящая статья.

**Анализ вероятностного подхода к обоснованию показателя.** Для радиоканалов, в которых используются сигналы с дискретными видами модуляции, при выборе показателя эффективности чаще всего предпочтение отдается значению вероятности битовой ошибки  $P_B$  и значению вероятности искажения кодовых комбинаций  $P_{кк}$  [3].

Тогда критерием эффективности можно определить следующее неравенство:

$$P_B \geq P_{B\text{ доп}}, P_{кк} \geq P_{кк\text{ доп}}. \quad (1)$$

Здесь  $P_{B\text{ доп}}$  и  $P_{кк\text{ доп}}$  – допустимые значения, при которых обеспечивается заданная вероятность ошибочного приема.

Поскольку точное описание реального радиоканала является сложной многопараметрической задачей, то в теории связи пользуются их упрощенными моделями, которые позволяют устанавливать основные закономерности передачи сигналов [3], а для оценки эффективности как помехоустойчивости, так и подавления, учитывают вид модуляции и способ обработки сигнала. Такой подход оправдан, так как позволяет в качестве нижнего порога использовать потенциальную помехоустойчивость, обусловленную типом сигнальной конструкции.

Так, для каналов с амплитудной манипуляцией (АТ) при использовании когерентного детектирования и интегрирования сигнала и помехи обеспечивается следующая вероятность ошибки на бит, характеризующая потенциальную помехоустойчивость [4]:

$$P_{AT} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\hbar^2}{\sqrt{2}} \right) \right], \quad (2)$$

где  $\hbar^2$  – отношение мощности сигнала к мощности помехи (ОСП) на входе подавляемого приемника ЛРС;  $\Phi(x)$  – интеграл вероятности, рассчитываемый согласно следующему выражению:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2/2) dt. \quad (3)$$

Выражение (3) описывает канал с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ), что отражает физическую сущность большинства деструктивных воздействий природного характера.

Для удобства практических расчетов выражение (3) в [3] представлено в следующем виде:

$$P_{\text{АТ}} \approx \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\hbar^2}{4}\right). \quad (4)$$

Формула (4) характеризует АБГШ со случайной начальной фазой и амплитудой.

Для каналов с частотной манипуляцией (ЧТ) вероятность ошибки при условии равновероятного априорного проявления передаваемых символов будет характеризоваться следующим выражением [4]:

$$P_{\text{ЧТ}} \approx \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\hbar^2}{2}\right). \quad (5)$$

Для канала с фазовой манипуляцией (ФТ) вероятность ошибочного приема будет иметь следующее значение [4]:

$$P_{\text{ФТ}} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi\left(\sqrt{2\hbar^2}\right) \right]. \quad (6)$$

Между тем анализ ряда работ, в том числе и [5], показал, что при достаточно больших аргументах интеграл вероятности  $\Phi(x)$  в (6) допускает приближительную замену следующего вида:

$$\Phi(x) \cong \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi x^2}} \exp\left(-\frac{x}{2}\right)^2. \quad (7)$$

где  $x = \sqrt{2 \cdot \hbar^2}$  – аргумент.

Учитывая, что деструктивное воздействие предполагает обеспечение энергетического превосходства в тракте приема помехи над сигналом, то в основе искомого показателя целесообразно использовать коэффициент подавления. По своей сути он представляет величину обратную  $\hbar^2$  и характеризует минимально необходимое отношение мощности помехи  $P_{\text{П}}$  к мощности сигнала  $P_{\text{С}}$  на входе приемного тракта, при котором достигается требуемый уровень радиоподавления [1]:

$$\widehat{K}_{\text{П}} = \frac{1}{\hbar^2} = \frac{P_{\text{П}}}{P_{\text{С}}}. \quad (8)$$

Тогда критерием эффективности радиоподавления  $\mathfrak{E}_{\text{РП}}$  будет выступать вероятность того, что текущее значение коэффициента подавления на входе приемного тракта  $K_{\text{П}}$  будет не меньше требуемого  $\widehat{K}_{\text{П}}$ .

$$\mathfrak{E}_{\text{РП}} = P\left(K_{\text{П}} \geq \widehat{K}_{\text{П}}\right). \quad (9)$$

Показатель (8) предполагает, что его достижение обеспечивается при минимальном значении мощности помехи  $P_{\text{П}}$ .

На рисунке представлена графическая зависимость для значений  $P_{\text{В}}$  от значения  $K_{\text{П}}$ , обеспечиваемого в канале.

Полученная зависимость позволяет для потенциально критичного значения вероятности ошибки определить требуемое значение  $K_{\text{П}}$ , приводящее к сбою при передаче информации. В частности, на рисунке 1 пунктиром показаны значения коэффициента подавления, обеспечивающие для сигналов различных видов передач вероятность ошибки, равную 0,1 ( $P_{\text{В}} = 0,1$ ).

Учитывая требования, предъявляемые к достоверности связи [2, 3] для сигналов дискретных видов модуляции, в частности  $P_{\text{В}} = 5 \times 10^{-3}$ , при передаче данных, можно получить требуемые значения  $K_{\text{П}}$ , приводящие к потере информации (табл.).

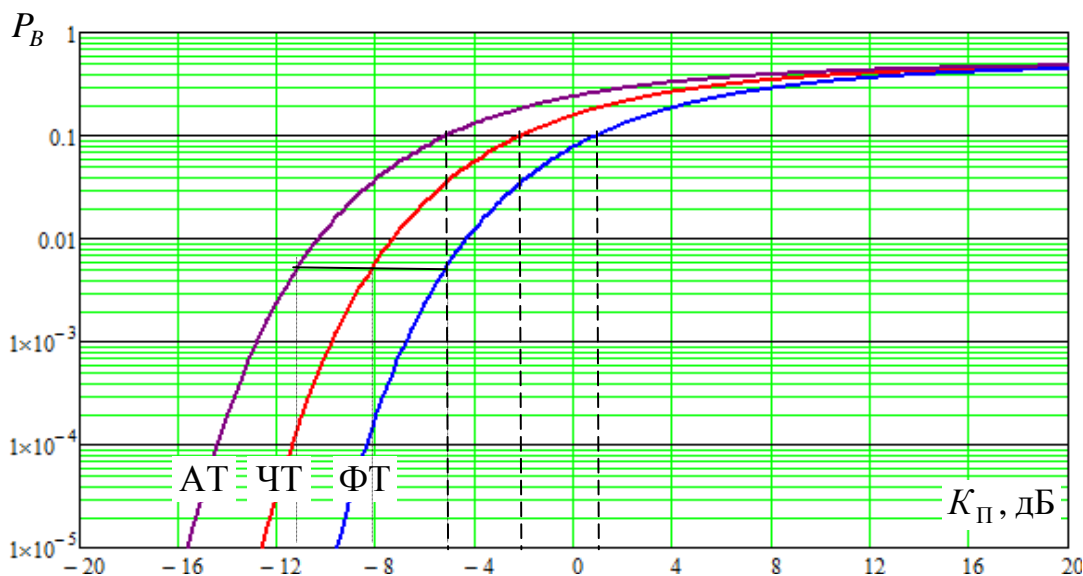


Рисунок – Потенциально допустимая вероятность ошибки для различных каналов

Таблица – Значения  $K_{\text{п}}$ , необходимые для подавления радиоканалов, использующих сигналы с дискретными видами модуляции

Вид манипуляции	АТ	ЧТ	ФТ
Значение $K_{\text{п}}$	-11 дБ	-8 дБ	-5 дБ

Поскольку эффективность передачи информации во многом определяется качественной реализацией процедур обнаружения [6], то при выборе искомой оценки следует предполагать, что при подавлении радиоканалов добиваются неопределенности на уровне решающего устройства демодулятора, а не обнаружителя. В этом случае следует исходить из того, что решение задачи обнаружения однозначно не решает задачу демодуляции [7, 8].

**Заключение.** На основании полученных результатов можно сделать следующее заключение. Информационный показатель эффективности подавления радиоканалов определяется текущим значением коэффициента подавления, который, в свою очередь, зависит от уровня мощности помехи, создаваемой на входе приемного тракта. При этом мощность помехи не должна быть сопоставимой с мощностью сигнала, как это требует классическая теория радиоэлектронной борьбы [1], поскольку нарушение в передаче информации наступает уже при уровне коэффициента подавления минус 5 дБ. Однако следует признать, что полученные результаты не учитывают принятие различных мер по повышению помехоустойчивости радиоканалов, а именно: использование помехоустойчивого кодирования, разнесенного приема и пр. [7].

Кроме того, эффективность подавления, обеспечивающего минимальный уровень, определяемый критерием (8), будет зависеть и от величины расстройки выбранной градации мощности и частотного отклонения помехи от номинала центральной частоты полосы пропускания приемного тракта. Именно эти показатели целесообразно контролировать и регулировать для обеспечения требуемого уровня деструктивного воздействия в системах радиоконтроля с ограниченным энергетическим ресурсом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Радзиевский, А.Г. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии. / А.Г. Радзиевский. – М. : Радиотехника, 2006. – 424 с.
2. Автоматизированная система контроля интенсивности физических полей рассеивания сигналов / А.А. Алексеев [и др.] // Научное приборостроение. – 2000. – Т.10, № 3. – С. 77–87.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр ; пер. с англ. под ред. А.В. Азаренко. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2007. – 1104 с.
4. Финк, Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. – 2-е изд. – М. : Советское радио, 1970. – 728 с.

5. Дворников, С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений / С.В. Дворников. – СПб. : ВАС, 2007. – 268 с.
6. Метод обнаружения радиосигналов на основе обработки их частотно-временных распределений плотности энергии / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. – 2005. – № 4. – С. 13–16.
7. Адаптивные автоматизированные системы военной радиосвязи / Ю.П. Килимник, Е.В. Лебединский, В.К. Прохоров А.Н. Шаров. – СПб. : ВАС, 1978. – 284 с.
8. Дворников С.В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения / С.В. Дворников // Научное приборостроение. – 2004. – Т. 14., № 4. – С. 92–97.

Поступила 02.03.2016

#### INFORMATION INDICATORS FOR SUPPRESSION PERFORMANCE EVALUATION CHANNELS OF THE RADIO COMMUNICATION WITH DISCRETE MODULATION FORMAT

S. DVORNIKOV, A. GULIDOV, Y. DOMBROVSKI, S. LAVROV, D. RYABENKO

*Results of a substantiation of a choice of the specified value of suppression ratio as an indicator of suppression performance evaluation of radio channels are represented. It is offered to approach to a choice of value of suppression ratio from noise immunity of the signal construction witch used for an information transfer. The analytical calculations confirming legality of such conclusion and data of computer simulation are represented.*

**Keywords:** noise immunity, suppression ratio, radio channel.