

УДК 004.056.8

А.А. Петров

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В статье рассмотрена оценка эффективности систем активной защиты в сетях общего пользования.

Ключевые слова: защита информации, оценка эффективности, активная защита, помеха.

Введение

Одной из основных задач при создании систем активной защиты является многокритериальная оптимизация технических характеристик. Решение этой задачи предусматривает помимо количественного или качественного описания каждой характеристики, их сравнение с аналогичными характеристиками систем активной защиты (САЗ), использующих другие классы помех. САЗ с прицельными параметрами имеют некоторые преимущества перед другими САЗ, поэтому оценку их эффективности будем производить путем сравнения соответствующих технических характеристик (ТХ).

Основная часть

Рассмотрим маскирующую способность прицельной помехи и ее зависимость от параметров, определяющих схемные и конструктивные особенности генераторов помех. Маскирующие свойства прицельной помехи в значительной степени обусловлены таким параметром, как число уровней квантования m .

На рис. 1 и 2 приведены результаты расчетов средней вероятности ошибки для последовательных кодов с основанием n и равновероятным распределением символов [1]. Случай, когда $n = 2$, соответствующий двоичному коду, представляет особый интерес.

Как видно из рис. 2, нормированная величина вероятности ошибки даже для объектов первой категории ($P_{ош} = 0,4602$) достигается при относительно небольших величинах параметра m [2]. Для его окончательного выбора при практической реализации необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Во-первых, увеличение числа элементов, используемых в схеме генератора помехи, происходит скачком пропорционально целой части $\log(m+1)$. Так, количество элементов, используемых в генераторах помехи на 5 – 8 уровней, практически одинаково, тогда как маскирующая способность таких помех различна.

Во-вторых, при снижении требований к точности параметров помехи приходится увеличивать или число уровней квантования помехи, или мощность помехи.

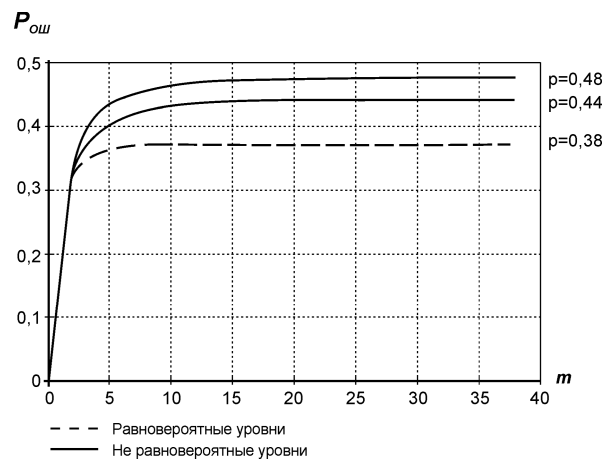


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки от числа уровней квантования помехи

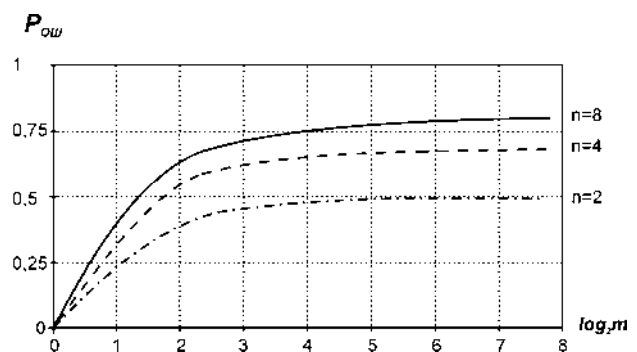


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от числа уровней квантования помехи для n -ричного последовательного кода с биномиальным распределением уровней

Следовательно, для обеспечения заданной маскирующей способности число уровней квантования помехи m должно выбираться с некоторым запасом в соответствии с табл. 1 путем округления в большую сторону до тех пор, пока $\log(m+1)$ не примет ближайшее целое значение.

Таблица 1

Число уровней квантования для различных категорий объектов при представлении информации в последовательном коде

| | | | |
|---------------------------|----|---|---|
| Категория объекта | 1 | 2 | 3 |
| Число уровней квантования | 15 | 7 | 3 |

Рассмотрим маскирующую способность прицельной помехи по отношению к идеальному параллельному коду. Его особенностью является то, что при приеме даже в отсутствии помех возникают ошибки, вероятность которых увеличивается с увеличением разрядности кода. Так, например, как видно из рис. 3, уже 8-разрядный параллельный код удовлетворяет требованиям норм по третьей категории [3, 4]. Кроме того, необходимое число уровней квантования помехи в значительной степени зависит от разрядности параллельного кода, однако, для вероятности ошибки, соответствующей нормам для объектов первой категории, такая зависимость проявляется в меньшей степени.

Выбор значений; параметра m осуществляется с учетом ранее сделанных замечаний в соответствии с табл. 2.

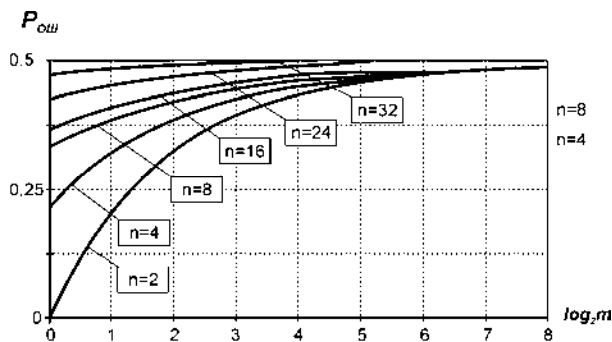


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки от числа уровней квантования помехи для двоичного равновероятного параллельного кода

Таблица 2

Число уровней квантования для различных категорий объектов при представлении информации в параллельном коде

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----|----|----|---|----|----|---|----|----|
| Категория объекта | 1 | | | 2 | | | 3 | | |
| Разрядность параллельного кода | 8 | 16 | 32 | 8 | 16 | 32 | 8 | 16 | 32 |
| Число уровней квантования | 15 | 7 | 3 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Сравнение маскирующей способности прицельной и имитирующей помех в условиях полного совпадения параметров помехи и сигнала без учета гауссовского компонента сводится к рассмотрению

влияния числа уровней квантования помехи m на среднюю вероятность ошибки.

Предельно допустимая маскирующая способность имитирующей помехи несколько выше, чем у прицельных помех. Так, например, в симметричном канале, в котором присутствует опасный сигнал, представленный в последовательном коде, и имитирующая помеха, вероятность ошибки равна 0,5, в то время как для прицельной помехи с $m = 15$ вероятность ошибки уменьшается лишь на 0,03. С другой стороны, маскирующая способность имитирующих помех снижается за счет того, что генератор помех в процессе ее формирования сам становится источником опасного инверсного сигнала и должен проходить специальные исследования. Указанное обстоятельство ограничивает применимость САЗ с имитирующими помехами.

Остановимся подробнее на сравнении сигналоподобных помех по величине параметра m . Как уже отмечалось, значение m прицельной помехи для сигналов последовательного кода выбирается в соответствии с табл. 1 и лежит в пределах от 15 до 3 в зависимости от категории объекта. В случае имитирующей помехи параметр $m = 1$, т.е. имеется некоторый выигрыш. Несколько иная картина наблюдается для сигналов двоичного параллельного кода. Значение m в этом случае колеблется: в пределах от 15 до 0 в зависимости от категории объекта и разрядности кода. Для имитирующей помехи параметр m должен выбираться из условия обеспечения постоянного уровня излучения в соответствии максимальным весом Хемминга, который для двоичного TV-разрядного параллельного кода равен N .

Отсюда следует, что чем выше разрядность кода, тем больше максимальное число уровней квантования имитирующей помехи m . Для прицельных помех имеет место обратная зависимость числа уровней квантования m от разрядности кода N (рис. 4). Учитывая, что параллельный способ передачи информации является наиболее распространенным в ЭВМ, можно утверждать, что по величине параметра m прицельные помехи дают, в общем случае, выигрыш по сравнению с имитирующими помехами.

Таким образом, сравнение прицельных и имитирующих помех по величине маскирующей способности оказывается в пользу первого класса помех. Следует отметить, что прицельные помехи по величине маскирующей способности имеют некоторое преимущество и перед гауссовскими помехами за счет того, что одна и та же средняя вероятность ошибки достигается при меньшей мощности помехи [5]. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен при сравнении энергетических показателей.

Рассмотрим количественные показатели защищенности по отношению к методам селекции и ком-

пенсации САЗ, использующих сигналоподобные помехи, поскольку для них эта проблема наиболее актуальна.

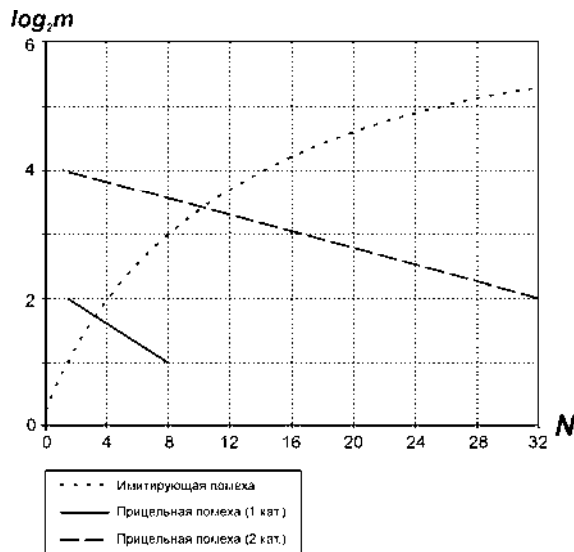


Рис. 4. Зависимость log₂m от разрядности параллельного кода для имитирующей и прицельной помех

Степень возможной компенсации помех определяется величиной взаимной энергии E или производного от нее параметра – отношения сигнал-помеха/шум q.

Иногда удобно пользоваться более сложным параметром η, равным

$$\eta = \frac{E_{Si}}{\sqrt{E_S \cdot E_i}} = \frac{q_{Si}}{\sqrt{q_s \cdot q_i}} \quad (1)$$

Для прицельных помех параметр η представляет собой коэффициент корреляции случайного процесса на выходах линейных частей тракта обработки сигнала и канала компенсации помехи.

Воспользуемся результатами, полученными в [6], которые дают возможность проанализировать влияние параметра η на вероятность ошибки.

На рис. 5 приведены зависимость вероятности ошибки в канале с последовательным кодом прицельной или имитирующей помехи от параметра η.

Для прицельных (m = 15) и имитирующих помех в качестве дополнительного параметра в семействе кривых фигурирует отношение сигнал/шум q. Предполагается, что отношение сигнал/шум q_s и помеха/шум q_t равны.

Такое предположение вполне корректно, поскольку при практической реализации САЗ стремятся добиться максимального совпадения параметров разряда помехи и сигнала, а имеющиеся несовпадения в основном вызваны незначительными временными задержками и другими различиями временных параметров.

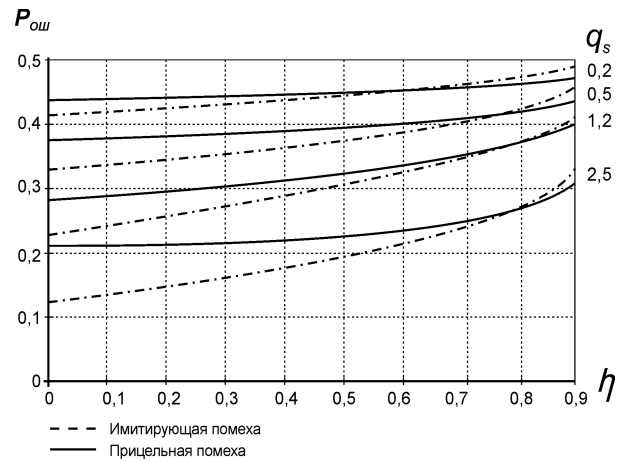


Рис. 5. Влияние точности параметров сигналоподобных помех на вероятность ошибки

Из графиков, приведенных на рис. 5, становится очевидно, что наличие гауссовского компонента, интенсивность которого характеризуется величиной q_s, снижает степень компенсации сигналоподобной помехи. Таким образом, величина отношения сигнал/шум в канале утечки определяет своеобразный допуск на точность параметров как прицельной, так и имитирующей помехи. Параметр m, в основном, влияет на максимальную величину вероятности ошибки.

Кроме того, полученные графики (рис. 6, 7) показывают имеющиеся существенные различия между прицельной и имитирующей помехами. В области значений параметра 0,7 < η < 0,9 происходит снижение эффективности обеих помех тем интенсивнее, чем больше величина отношения сигнал/шум.

Однако, возможность компенсации имитирующей помехи возрастает заметно быстрее. При значении параметра η < 0,5 средняя вероятность ошибки для имитирующей помехи становится даже ниже, чем при наличии только гауссовского компонента. Это свидетельствует о том, что при η < 0,5 имитирующая помеха не только не обеспечивает защищенность канала, а даже приводит к ее снижению. Причины, ухудшающие маскирующие свойства прицельных помех, отличаются от тех, которые приводят к уменьшению средней вероятности ошибки в канале с имитирующими помехами. Снижение средней вероятности ошибки для прицельных помех происходит в результате того, что при приближении значений параметра η к нулю происходит все более полная их компенсация, и, наконец, при η = 0 прицельная помеха компенсируется полностью. Однако при этом вероятность ошибки остается равной величине, обусловленной присутствием в канале гауссовского компонента. При отрицательных значениях параметра η будет наблюдаться рост величины

средней вероятности ошибки, поскольку условия для компенсации ухудшаются, и при $\eta = -1$ средняя вероятность ошибки вновь достигает максимального значения.

Снижение вероятности ошибки в канале с имитирующими помехами вызвано тем, что по мере уменьшения взаимной энергии, как известно, фактически улучшается различие сигнала и помехи [5 – 7]. Так, например, при $\eta = 0$ сигнал и помеха становятся ортогональными, а при $\eta = -1$ противофазными, что значительно улучшает их различие. Снижение эффективности имитирующих помех в области отрицательных значений параметра η по сравнению с каналом, в котором присутствует только гауссовский компонент, показано на графиках рис. 6, из которых видно, что снижение может быть значительным.

Минимальный выигрыш в энергетическом отношении сигнал/помеха, получаемый за счет применения прицельных помех, при корректном выборе параметра η ($\eta > 0,8$) колеблется в пределах от 2,2 до 1,6 раза в зависимости от категории объекта. За счет применения многоканальных схем величина выигрыша может быть увеличена в несколько раз. Применение многоканальных схем в САЗ с имитирующими помехами из-за жесткой связи сигнала и помехи не дает положительного результата, так как при приеме помехи одного из каналов проникновение помех из других каналов способствует ухудшению совпадения сигнала и помехи (параметр η уменьшается).

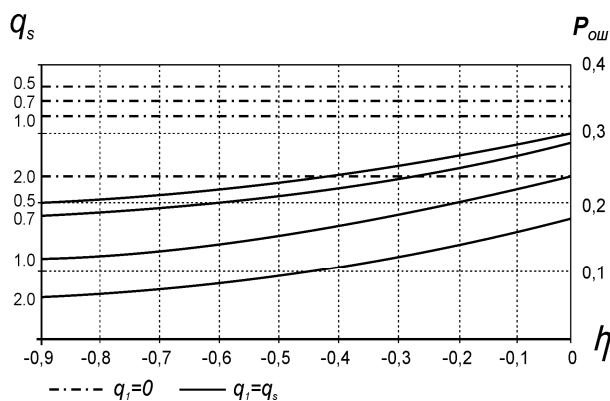


Рис. 6. Снижение эффективности имитирующей помехи относительно гауссовской в области отрицательных значений параметра η

Таким образом, САЗ ПП превосходят САЗ ИП по защищенности по отношению к методам селекции и компенсации помех, но несколько уступают по этому показателю САЗ ГП.

Область применения САЗ ИП должна быть ограниченной и включать в себя те случаи, когда величина параметра η с достаточной гарантией под-

держивается на уровне 0,8 – 0,9. Очевидно, что сюда относится область низких частот и те ситуации, когда достаточно просто моделируется излучатель опасного сигнала.

Сравнение параметров САЗ, характеризующих ЭМС, целесообразно проводить путем анализа влияния относительных энергозатрат (отношения сигнал/помеха q) на величину средней вероятности ошибки. На рис. 7 приведен график, характеризующий зависимость средней вероятности ошибки от отношения сигнал/помеха для канала с $\lambda = 1$.

Кривая, соответствующая прицельной помехе с компенсированной постоянной составляющей, проходит выше кривых, соответствующих как гауссовской, так к прицельной помехе без компенсации постоянной составляющей. Это свидетельствует о том, что прицельная помеха позволяет получать в канале большую вероятность ошибки по сравнению с другими помехами при одинаковой с ними мощности помех. Однако разница в затратах энергии на получение определенной вероятности ошибки для всех трех типов помех неодинакова в различных условиях: для области относительно больших значений $P_{ОШ}$ соответствующих требованиям норм для объектов первой категории, эта разница невелика, но она становится существенной для области, соответствующей нормам для объектов второй и третьей категорий.

При рассмотрении канала с неравновероятным появлением единиц и нулей, что менее характерно для опасных сигналов корпоративных сетей, можно отметить те же тенденции. В этом случае прицельные помехи с равновероятными и неравновероятными уровнями практически на всей шкале измерений отношения сигнал/помеха превосходят гауссовские помехи.

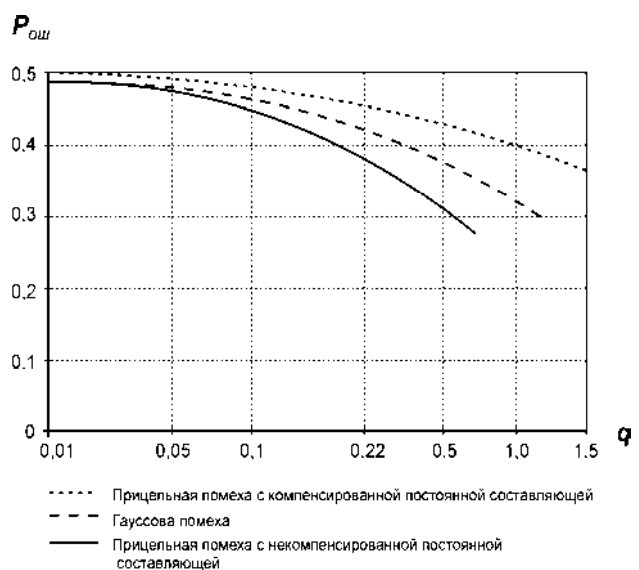


Рис. 7. Вероятностно-энергетические характеристики прицельных и гауссовских помех для $\lambda = 1$

Представляет определенный интерес сравнение прицельных помех с равновероятными и неравновероятными уровнями квантования друг с другом. Прицельные помехи с неравновероятными уровнями даже при больших m имеют ограниченную мощность, вызванную тем, что вероятность больших уровней стремится к нулю. Однако и вероятность ошибки для этих помех стремится к некоторому пределу, связанному с величиной λ , который меньше соответствующего предела вероятности ошибки в канале с помехой, имеющей равновероятные уровни. Это объясняется особенностью работы оптимального приемного устройства для прицельных помех с неравновероятными уровнями [7]. Таким образом, прицельная помеха с равновероятными уровнями превосходит аналогичную помеху с неравновероятными уровнями квантования по всем показателям, включая простоту реализации.

Выводы

Таким образом, по результатам сравнительного анализа наиболее эффективными следует признать САЗ ПП и, в несколько в меньшей степени, САЗ ГП. САЗ ИП уступает им по общей эффективности и имеет значительно худшие показатели по первым двум важнейшим техническим характеристикам.

Обобщенные результаты качественного и количественного анализа основных технических характеристик САЗ, использующих прицельные, имитирующие и гауссовские помехи, проведенного в данном разделе, приведены в табл. 3.

В табл. 3 маскирующая способность имитирующих помех оценена несколько ниже, чем для других помех, из-за ухудшения специальных свойств вследствие наличия жесткой связи их с информационным сигналом.

Скрытность САЗ ПП признана максимальной потому, что помимо сигналоподобного характера помехи, учитывается сложность алгоритма перехвата.

Экспертная оценка отдельных показателей осуществлялась по 3-балльной ранжированной системе.

Таблица 3
Сравнительная таблица основных технических характеристик САЗ

| Технические характеристики | САЗ ИП | САЗ ПП | САЗ ГП |
|--|--------|--------|--------|
| Маскирующая способность | 2 | 3 | 3 |
| Защищенность по отношению к методам селекции и компенсации помех | 1 | 2 | 3 |
| Скрытность | 2 | 3 | 1 |
| ЭМС | 3 | 3 | 1 |
| Универсальность | 1 | 1 | 3 |
| Простота реализации для нескольких опасных сигналов | 2 | 2 | 3 |
| Простота реализации для одного-двух опасных сигналов | 3 | 3 | 2 |

Список литературы

1. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах: 2-е изд. / Л.С. Гуткин. – М.: Сов. радио, 1972. – 448 с.
2. Ризкин А.А. Основы теории усилительных схем / А.А. Ризкин. – М.: Сов. радио, 1954. – 420 с.
3. Котоусов А.С. Различение детерминированных сигналов в квазидетерминированном потоке импульсов / А.С. Котоусов // Проблемы передачи информации. – 1976. – Т. 12, вып. 1. – С. 41-47.
4. Ванштейн Т.Г. Теория обработки сигналов автоматического управления в радиоэлектронных системах / Т.Г. Ванштейн. – Л.: МО, 1992. – 245 с.
5. Класифікація автоматизованих систем і стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу. НД ТЗІ 2.5-005-99.
6. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах: 2-е изд. / Л.С. Гуткин. – М.: Сов. радио, 1972. – 448 с.
7. Конторович В.Я. Оптимальный прием сигналов дискретных сообщений на фоне аддитивных помех / В.Я. Конторович, В.Е. Ляндерс // Известия вузов. Серия Радиоэлектроника. – 1973. – Т. 16, №3. – С. 49-53.

Поступила в редколлегию 25.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Хорошко, Институт защиты информации ДУИКТ, Киев.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ АКТИВНОЇ ЗАХИСТУ В МЕРЕЖАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

А.О. Петров

У статті розглянута оцінка ефективності систем активного захисту в мережах загального користування.
Ключові слова: захист інформації, оцінка ефективності, активний захист, перешикода.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ACTIVE PROTECTION OF INFORMATION IN PUBLIC NETWORKS

A.A. Petrov

The article considers the estimation of the effectiveness of active defense in setyahobshchego use.
Keywords: information security, estimation of efficiency, active defence, hindrance.