

УДК 621.396

Д.Н. Воронов

Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИМИТОСТОЙКОСТИ КОМАНДНО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ РАДИОЛИНИЙ

*В статье рассматриваются критерии оценки имитостойкости командно-телеметрических радиолиний на уровне дискретных сигналов.*

*оценка имитостойкости командно-телеметрических радиолиний, дискретный сигнал*

### Введение

**Постановка задачи.** На сегодняшний день известен целый ряд критериев оценки имитостойкости [1 – 4, 7, 9], однако в большинстве своем они ориентированы на обеспечение имитостойкости только на уровне использования аппаратуры спецпреобразований. В то же время в условиях непрерывного роста угроз со стороны противника обеспечения имитостойкости только на этом уровне оказывается недостаточно или использование самой аппаратуры спецпреобразований не представляется возможным, что обуславливает необходимость оценивать и обеспечивать имитостойкость на уровне дискретных сигналов.

**Анализ литературы.** С целью решения данной задачи в [3, 8] проведено исследование свойств сложных сигналов с различными законами формирования. В [11, 12] был предложен новый алгоритм формирования сложных сигналов – с искусственно создаваемыми гребенчатыми спектрами, а в [13] проведена оценка имитостойкости перспективной цифровой системы уплотнения сигналов, использующей сигналы с искусственно создаваемыми гребенчатыми спектрами, обладающей лучшими параметрами эффективности использования частотного диапазона, а также скрытности по сравнению с подобными системами уплотнения. Однако простое использование сложных сигналов без учета специфики работы в конкретных устройствах не всегда приводит к оптимальному результату.

**Целью статьи** является обзор критериев оценки имитостойкости командно-телеметрических радиолиний на уровне дискретных сигналов.

### Основной материал

Ряд исследований, проведенных к настоящему времени [2 – 6, 10] показывает, что имитостойкость канала, обеспечиваемая на уровне сигналов  $I_c$ , зависит от размерности пространства сигналов  $G$ , числа разрешенных к использованию в интервале времени  $\Delta t$  сигналов  $G_p$ , количества попыток имитации  $n$  и стратегии имитации  $q$ :

$$I_c = f(G, G_p, n, q). \quad (1)$$

Имитостойкость на уровне дискретных сигналов обеспечивается за счет использования сигналов со сложной структурой, по своим свойствам близким к свойствам шума, изменения параметров сигналов в пространстве и времени и использования сигналов с нелинейными законами формирования.

Оценка вероятности навязывания одного сложного сигнала для случая равновероятного подбора с возвращением определяется соотношением:

$$P_{\text{нав.}} = \frac{1}{Z}, \quad (2)$$

а без возвращения:

$$P_{\text{нав.}} = \begin{cases} \frac{n}{Z}, & 1 \leq n \leq Z; \\ 1, & n > Z, \end{cases} \quad (3)$$

где  $n$  – число попыток навязывания;  $Z$  – размерность ансамбля сигналов.

Имитостойкость  $I_c$  связана с вероятностью навязывания сигнала соотношением:

$$I_c = 1 - P_{\text{нав.}} \quad (4)$$

Следует заметить, что соотношения (2) и (3) позволяют оценить вероятность для единичной попытки навязывания. В том случае, если в канале используются сигналы с частотно-фазовой модуляцией, имитостойкость для единичной попытки навязывания в системе с возвращением будет определяться как:

$$I_c = 1 - P_{\text{нав.}} = 1 - \frac{1}{M_f \cdot M_{kc}} M_f^p \cdot M_{kc}^p, \quad (5)$$

где  $M_f^p$  и  $M_{kc}^p$  – число разрешенных в заданный интервал времени частот и форм сигналов соответственно;  $M_f$  и  $M_{kc}$  – общее число частот и форм сигналов.

В системе без возвращения выражение для оценки для оценки имитостойкости, согласно (4) можно записать в виде:

$$I_b = 1 - \frac{1}{(M_f \cdot M_{kc} - H)} M_f^p \cdot M_{kc}^p, \quad (6)$$

$$0 \leq H(M_f^p \cdot M_{kc}^p) < M_f \cdot M_{kc}.$$

где  $N$  – число уже использованных и известных форм сигналов

Выражения (4), (5) справедливы для случая применения сигналов с фазовой модуляцией, если  $M_f \cdot M_{kc} = 1$ .

Соотношения (5), (6) позволяют оценить вероятность навязывания сложного сигнала при единичной попытке. В случае многократных попыток навязывания имитостойкость радиоканала можно оценивать безопасным временем  $T_6$  – математическим ожиданием времени статистического опробования всевозможных вариантов навязывания противником сигнала с использованием всего пространства  $\{Z\}$  сложных сигналов.

Величина  $T_6$  определяется из соотношения:

$$T_6 = \frac{1}{2} \cdot Z \cdot t_{\text{опр.}} \quad (7)$$

где  $t_{\text{опр.}}$  – время передачи имитационного сигнала.

Очевидно, что

$$t_{\text{опр.}} = \frac{1}{R_{\Pi}}, \quad (8)$$

где  $R_{\Pi}$  – скорость имитационных воздействий противника.

Приведенные выше критерии (5), (6) позволяют оценить вероятность навязывания только одного сигнала. В тоже время, с практической точки зрения, особенно в системах, функционирующих в динамическом режиме, более предпочтительной характеристикой является вероятность навязывания сообщения (совокупности синхромаркеров или сложного синхромаркера). Можно показать [14], что вероятность навязывания  $\nu$  сигналов в сообщении, состоящем из  $k$  сигналов в системе с возвращением:

$$P_{\text{нав.}}(\nu) = C_Z^{\nu} \cdot P_{\text{нав.}}^{\nu} \cdot (1 - P_{\text{нав.}})^{k-\nu} \quad (9)$$

где  $C_Z^{\nu}$  – число сочетаний из  $Z$  по  $\nu$ .

При этом вероятность навязывания не менее  $\nu$  сигналов определяется из соотношения:

$$P_{\text{нав.}}(1 \geq \nu) = \sum_{l=\nu}^k C_Z^l \cdot P_{\text{нав.}}^l \cdot (1 - P_{\text{нав.}})^{k-l}, \quad (10)$$

где  $P_{\text{нав.}}$  – вероятность навязывания одного сигнала.

Величина вероятности навязывания зависит также от интервала времени, в течение которого осуществляется имитация. В случае, когда разрешенными для излучения являются  $Z$  сложных сигналов, показано [7], что

$$P_{\text{нав.}}(t) = \frac{t}{A_Z^k \cdot t_{\text{опр.}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\text{опр.}}$  – время, затрачиваемое на единичную попытку имитации сообщения.

## Вывод

Представленные критерии оценки имитостойкости командно-телеметрических радиолиний позволяют оценить их имитостойкость на уровне дискретных сигналов. Необходимая имитостойкость обеспечивается за счет использования сигналов со сложной структурой, по своим свойствам близким к свойствам шума, имеющих изменяющиеся параметры в пространстве и времени, а также использования сигналов с нелинейными законами формирования.

Анализ соотношений (9) – (11) показывает, что вероятность навязывания зависит от размерности разрешенного ансамбля сигналов, от длины сообщения, от алгоритма выбора сигналов при формировании сообщения, стратегии навязывания сообщений противником, а также от величины интервала времени, в течение которого осуществляется имитация.

## Список литературы

1. Макаров С.Б., Цикин И.А. *Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания*. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
2. Рихтер С.Г. *Цифровое радиовещание*. – М: Горячая линия – Телеком, 2004. – 352 с.
3. Воронов Д.Н. *Анализ свойств сложных сигналов, используемых в радиолиниях управления космическими аппаратами // Системы обработки информации*. – Х.: НАНУ, ХВУ. – 1998. – Вып. 1. – С. 38 – 40.
4. Спикер Дж. *Цифровая спутниковая связь: Пер. с англ.* – М.: Связь, 1999. – 592 с.
5. Тузов Г.И., Урядников Ю.Ф., Прытков В.И. и др. *Адресные системы управления в связи / Под ред. Г.И. Тузова*. – М.: Радио и связь, 1993. – 384 с.
6. Биленко А.П. *Этапы развития и направления специальных систем спутниковой связи. Серия X*. – 2003. – Вып. 2. – 147 с.
7. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. *Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г.И. Тузова*. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
8. *Применение сложных сигналов в командно-телеметрических радиолиниях / Ю.В. Стасев, И.Д. Горбенко, Б.И. Макаренко, А.В. Ивашкин, Д.Н. Воронов // Космічна наука і технологія*. – 1997. – Т. 3, № 5/6. – С. 104-108.
9. Воронов Д.Н., Линник Н.Ф. *Алгоритм повышения достоверности информации в радиоканалах систем передачи информации // Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 4. – С. 46-49.
10. Завадская Л.А. *Потоковые системы шифрования, основанные на регистрах сдвига // Безопасность информации*. – 1995. – № 3. – С. 12-17.
11. Рассомахин С.Г., Горбачев В.В., Ильченко М.Е. *Метод формирования системы сигналов с гребенчатым спектром // Вестник науки и техники*. – Х. – 2003. – Вып. 1. – С. 87.
12. Рассомахін С.Г., Горбачов В.В., Авдеев В.Г. *Енергетична ефективність сигналів з гребінчастим спектром // Вестник науки и техники*. – Х. – 2003. – № 2 – 3(13 – 14). – 66 с.
13. Сорока Л.С., Воронов Д.Н., Снисаренко А.Г., Рассомахин С.Г. *Оценка безопасности передачи информации цифровой системой уплотнения сигналов с*

*искусственно создаваемыми гребенчатыми спектрами // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 5. – С. 211-219.*

*14. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. – 375 с.*

*Поступила в редколлегию 29.03.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.С. Сорока, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.