

УДК 519.724:629.783

## МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЛОКИРОВАНИЯ КАНАЛОВ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

А.А. ГУЛИДОВ

(Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург)

Рассмотрена система сигналов, используемая для передачи информации в спутниковых каналах связи, объединяемых единым правилом построения. Предложен способ оценки эффективности блокирования абонентов, основанный на применении двухконтурной схемы контроля. Получены математическая и графическая зависимости вероятности ошибки в канале от энергетической погрешности настройки выходного тракта, определяющей значение отношения сигнал/шум.

**Ключевые слова:** канал спутниковой связи, манипуляция сигнала, отношение сигнал/шум.

**Введение.** Одна из задач системы радиомониторинга спутниковых систем связи состоит в оценке мероприятий по эффективности блокирования несанкционированных источников [1]. Очевидно, что наиболее простым способом реализации указанных мероприятий является энергетическое подавление каналов связи, при котором происходит перегрузка и запираение входных трактов [2]. Однако такой подход предполагает значительный арсенал средств, который сложно применить на практике в условиях большого количества контролируемых источников. По этой причине наиболее оптимальным считают использование так называемых интеллектуальных способов блокирования [3], в ходе которых поражаются лишь отдельные элементы сигнала, в результате чего прием становится невозможным. Но такой подход требует реализации принципиально новых методов контроля эффективности указанного рода деструктивного воздействия, т.е. обеспечения точного временного совпадения помехи и сигнала и т.д. Вопросы разработки методического аппарата для такого подхода и посвящена настоящая статья.

**Оценка эффективности блокирования каналов спутниковой связи.** Интересное решение представляет собой способ оценки эффективности блокирования абонентов, предложенный в [4], который основан на применении двухконтурной схемы контроля. Его сущность поясняется структурой, представленной на рисунке 1.

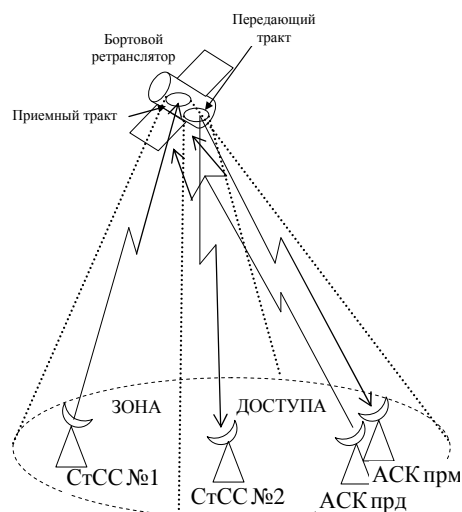


Рисунок 1 – Принцип двухконтурной схемы контроля эффективности блокирования абонентов спутниковой системы связи

На рисунке 1 представлены: СтСС – станция спутниковой связи, АСКпрд – автоматизированная станция контроля (передатчик), АСКпрм – автоматизированная станция контроля (приемник).

Сам принцип основан на том, что сигнал бортового ретранслятора, предназначенный для абонента контролируемой станции спутниковой связи, принимается автоматизированной станцией контроля. Это позволяет контролировать ретранслированный сигнал несанкционированного источника как в процессе постановки помех, так и в обычном режиме мониторинга. Достоинство такого подхода заключается

в возможности дополнительного использования в ходе контроля процедур распознавания, например реализованных в [5, 6], что существенно расширило бы арсенал средств радиомониторинга. Следовательно, открывается возможность оценить степень частотной расстройки помехи в отдельном тактовом интервале:

$$\Delta_{cn} = |f_n - f_c|, \quad (1)$$

где  $f_n$  – значение частоты помехи, излучаемой передатчиком АСК;  $f_c$  – значение частоты сигнала, излучаемого СтСС № 1.

Тогда решение об эффективности постановки помехи можно принимать не только на основе измерения параметра, определяемого выражением (1). Не менее важным параметром выступает значение расстройки допустимого значения мощности помехи, при которой обеспечивается блокирование.

Для разработки методического аппарата контроля эффективности воспользуемся моделью, предложенной в [3].

Так, в условиях постановки прямошумовой помехи в каналах с частотной манипуляцией (ЧМн) и относительной фазовой манипуляцией (ОФМн) вероятность ошибки будет определяться следующим образом:

$$P_{\text{ош}} = \begin{cases} \frac{1}{2} \exp\left(-0,5 \cdot \frac{P_c}{P_{\text{ш}} + P_n}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{0,5}{\frac{P_{\text{ш}}}{P_c} + \frac{P_n}{P_c}}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{0,5}{\frac{1}{h^2} + \dot{h}^2}\right) & \text{— для ЧМн сигнала;} \\ \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{P_c}{P_{\text{ш}} + P_n}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{1}{\frac{P_{\text{ш}}}{P_c} + \frac{P_n}{P_c}}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{1}{\frac{1}{h^2} + \dot{h}^2}\right) & \text{— для ОФМн сигнала.} \end{cases} \quad (2)$$

В формуле (2)  $h^2 = P_c / P_{\text{ш}}$  есть значение отношения мощности сигнала  $P_c$  к мощности шума  $P_{\text{ш}}$  (ОСШ), а  $\dot{h}^2 = P_n / P_c$  – соответственно отношение мощности помехи  $P_n$  к мощности сигнала  $P_c$  (ОПС).

На рисунке 2 показаны графические зависимости  $P_{\text{ош}} = f(P_n / P_c) = f(\dot{h}^2)$  для сигналов с ЧМн и ОФМн с учетом значения  $h^2 = 20$  дБ в канале.

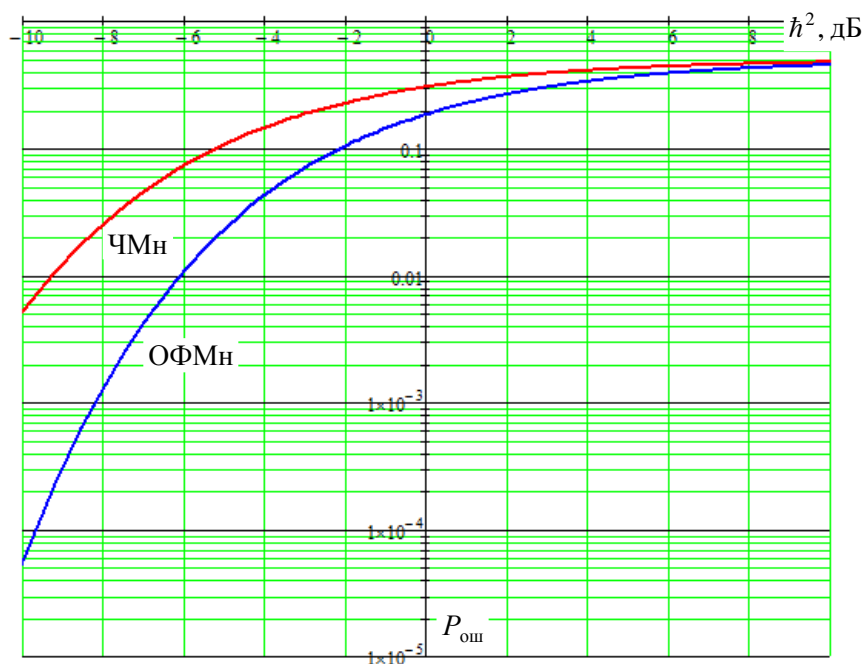


Рисунок 2 – Вероятность ошибки в канале от значения ОПС для сигналов ЧМн и ОФМн

Анализ полученных зависимостей показывает, что при больших значениях ОПС  $\hat{h}^2$  (когда  $P_{\text{ош}} \geq 0,1$ ) влияние шумовых составляющих на величину  $P_{\text{ош}}$  незначительное, что позволяет ими пренебречь.

Более существенным фактором, влияющим на достоверность определения  $P_{\text{ош}}$ , является энергетическая погрешность настройки выходного тракта  $\Delta$ , определяющая значение ОПС. С учетом ошибки  $\Delta$ , выражение для результирующей вероятности (2) будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{ош}} = \begin{cases} \frac{1}{2} \exp\left(-0,5 \cdot \frac{P_c}{P_{\text{ш}} + P_{\text{п}}}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{0,5}{\frac{1}{\hat{h}^2} + \hat{h}^2 \pm \Delta}\right) & \text{— для ЧМн сигнала;} \\ \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{P_c}{P_{\text{ш}} + P_{\text{п}}}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{1}{\frac{1}{\hat{h}^2} + \hat{h}^2 \pm \Delta}\right) & \text{— для ОФМн сигнала.} \end{cases} \quad (3)$$

На рисунке 3 показаны графические зависимости вероятности ошибки от погрешности определения ОПС  $\Delta$  для значения  $\hat{h}^2 = 1$ . Здесь показаны линии, ограничивающие область изменения вероятности ошибки при постановке прямошумовой помехи сигналам ЧМн (вверху), и линии, ограничивающие область при постановке прямошумовой помехи сигналам ОФМн (внизу).

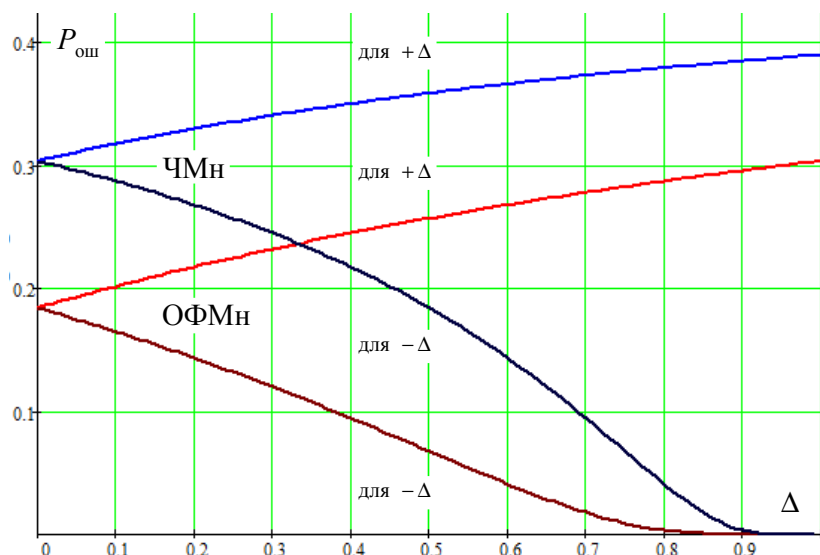


Рисунок 3 – Зависимость вероятности ошибки в канале от ошибки определения искомого значения ОПС для сигналов ЧМн и ОФМн

Восходящие кривые на рисунке 3 соответствуют погрешностям со знаком плюс, а нисходящие — со знаком минус.

Анализ полученных зависимостей показывает, что вероятность ошибки с увеличением погрешности определения значения ОПС увеличивается либо уменьшается в зависимости от знака, т.е. возрастает, если значение  $\Delta$  имеет знак плюс, и убывает, если погрешность имеет знак минус.

Отклонение вероятности ошибки от истинного значения при погрешности со знаком плюс может достигать 35% при постановке помех сигналам ЧМн, и 24% — при постановке помех сигналам ОФМн.

Если погрешности имеют знак минус, то соответственно получаем значения 97% и 100% при радиоприеме сигналов ЧМн и ОФМн.

Анализ учета полученного значения в (3) можно осуществлять на основе использования различных методов обнаружения, в частности разработанных в [7–9], которые позволят измерить амплитудные различия, характеризующие величину  $\Delta$ .

**Заключение.** Таким образом, полученный методический аппарат оценки качества постановки помех несанкционированным каналам спутниковой связи позволяет получать численные значения, на ос-

нове которых можно вычислить величину ошибки в выборе требуемого значения ОПС. Следовательно, открывается возможность подобрать наименьший уровень помехи, при котором обеспечивается решение задачи блокирования при минимальных энергетических затратах. Это позволит более экономично подходить к расходу энергетического ресурса АСК и тем самым, обеспечить возможность активного мониторинга нескольких спутниковых каналов.

Направление дальнейшего исследования видится в совместной оценке частотной расстройки и энергетической погрешности при постановке помех, а также использовании метода совместного оценивания сигналов, представленного в [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дворников, С.В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге / С.В. Дворников / Мобильные системы. – 2007. – № 4. – С. 33–35.
2. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / В.Г. Радзиевский [и др.] ; под ред. В.Г. Радзиевского. – М. : Радиотехника, 2006. – 424 с.
3. Куприянов, А.И. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М. : Вузовская книга, 2011. – 800 с.
4. Способ оценки эффективности радиоподавления сигнала спутниковой связи путем воздействия помехами на приемные системы ретрансляторов и устройство для его реализации : пат. 2420760 РФ, МПК G 01S 13/88 / Ю.М. Урличич, В.А. Поповкин, О.Н. Остапенко, С.А. Ежов, С.В. Попов, В.М. Ватутин, А.В. Рыков, В.М. Соколов, Н.В. Гусаков ; дата публ.: 10.06.2011.
5. Способ распознавания радиосигналов : пат. 2261476 РФ, МПК G 06K 9/00 / В.А. Аладинский, С.В. Дворников, А.М. Сауков, А.Н. Симонов ; дата публ.: 27.09.2005.
6. Способ распознавания радиосигналов : пат. 2356064 РФ, МПК G 01S 7/00 / С.В. Дворников, А.С. Дворников, С.Р. Желнин, И.Н. Оков, А.М. Сауков, А.Н. Симонов, А.Ф. Яхеев ; дата публ.: 20.05.2009.
7. 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. – № 4. – Т. 14. – С. 92–97.
8. 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.
9. Дворников, С.В. Метод обнаружения сигналов диапазона ВЧ на основе двухэтапного алгоритма принятия решения / С.В. Дворников / Научное приборостроение. – 2005. – № 3. – Т. 15. – С. 114–119.
10. Применение методов частотно-временной обработки акустических сигналов для анализа параметров реверберации / А.А. Алексеев [и др.] / Научное приборостроение. – 2001. – № 1. – Т. 11. – С. 65–76.

Поступила 02.03.2016

#### METHODOLOGY OF ESTIMATION OF SATELLITE COMMUNICATION CHANNELS BLOCKING EFFICIENCY

A. GULIDOV

*The system of signals used for an information transfer in satellite communication channels, united by a uniform rule of construction is considered. The way of estimation of subscribers blocking efficiency based on application of the double circuit scheme of the control is offered. Mathematical and graphic dependences of probability of an error in a channel on the power error of adjustment of an output path are received. Dependences define a value of signal/noise relation.*

**Keywords:** *satellite communication channel, signal manipulation, signal/noise relation.*