

УДК 621.396.96

**ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ РАДИОКАНАЛА СВЯЗИ  
С УДАЛЕННЫМИ СТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

**В.В. Аксенов, В.И. Павлов**

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; avaks\_68@bk.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором Д.Ю. Муромцевым*

**Ключевые слова и фразы:** индикаторные функции помех; канал связи; помехоустойчивость.

**Аннотация:** Рассмотрены математические модели сигналов и преднамеренных помех применительно к каналу связи с удаленными стационарными объектами. Предложено использование совокупности индикаторных функций помех для повышения помехоустойчивости канала радиосвязи. Представлен пример использования индикаторной функции.

---

Радиосистемы управления и связи, как правило, являются составной частью сложных комплексов управления (объектами, людьми) и предназначаются для передачи измерительной информации, характеризующей вектор состояния управляемых объектов, передачи командной и различного вида связной информации [1]. При этом требуемая точность передачи сообщений, а также и выполнение других функций должны достигаться в сложной помеховой обстановке, что в значительной степени будет определяться помехоустойчивостью канала связи [1].

В связи со сложной криминогенной обстановкой и террористической угрозой важное значение имеет устойчивость канала связи к действию преднамеренных помех, создаваемых третьими лицами с целью искажения, приостановки или прекращения передачи информации. Отдельного внимания требуют объекты, имеющие критически важное значение (например, магистральные продуктопроводы), использующие открытые каналы связи для мониторинга технического состояния.

Как правило, для таких объектов известен характер и структура передаваемой по каналу связи информации (сигналы с датчиков, команды управления отдельными устройствами). Сообщения обычно передаются периодически и в пакетном режиме. Третьими лицами с помощью средств радиотехнической разведки возможно длительное накопление информации о режиме связи, используемых частотных диапазонах, типах сигналов, модуляции и пр.

Данная информация может использоваться как для формирования режима противодействия системе связи в целом, так и конкретных преднамеренных помех

каналу. Поэтому для повышения помехоустойчивости возникает необходимость своевременного обнаружения факта присутствия преднамеренной помехи в принятом сигнале и адаптации канала связи к действию помехи.

Как известно [2], *помехозащищенность средств радиосвязи (СРС) достигается за счет комплекса организационных мер, способов и средств, направленных на обеспечение устойчивой работы СРС в условиях воздействия организованных (преднамеренных) помех радиоэлектронного подавления (РЭП).*

Процесс функционирования СРС в условиях организованных помех по своей физической сущности может быть представлен как радиоэлектронный конфликт, в котором с одной стороны участвуют СРС, а с другой – система РЭП, состоящая в общем случае из станции радиотехнической разведки (РТР) и непосредственно станции помех. На рисунке 1 в общем виде представлена структурная схема радиоэлектронного конфликта.

Проблеме защиты канала связи от преднамеренных помех уделяется немалое внимание [1–5]. Защищенным считается канал, обеспечивающий требуемые показатели скрытности передачи информации и устойчивости к действию преднамеренных помех. Модель защищенного канала связи (ЗКС) должна дополнительно содержать модель специально разработанного передаваемого сигнала, модель преднамеренных помех, способы борьбы с помехами.

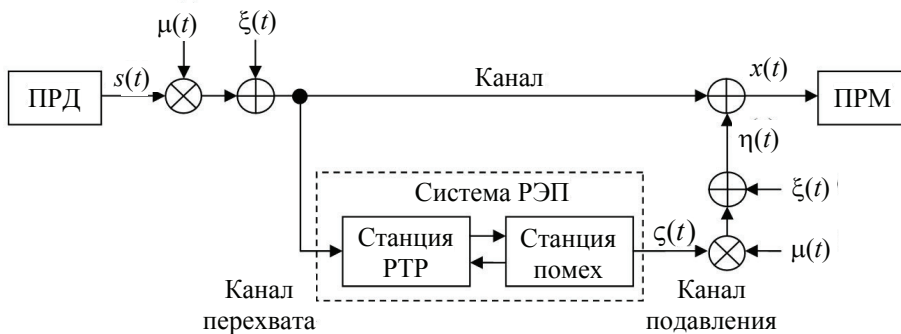
**Модель передаваемого сигнала.** В общем случае в ЗКС сигналы  $s(t)$  передаются при воздействии мультипликативной  $\mu(t)$  и аддитивной  $\xi(t)$  помех (рис. 1). Эти помехи следует рассматривать как непреднамеренные. Если преднамеренные помехи отсутствуют, то на входе приемника наблюдаются реализации случайного процесса [2]

$$x(t) = \mu(t)s(t) + \xi(t). \quad (1)$$

Функция  $\mu(t)$  – случайный процесс, причем  $\mu(t) \geq 0$ ,  $t \in R = [0, \infty)$ .

**Модель помехи.** Структура преднамеренной помехи  $\eta(t)$ , непосредственно воздействующей на приемник, может быть самой различной [2]. На рисунке 1 графически представлен механизм ее формирования из помехи  $\zeta(t)$ , излучаемой станцией помех системы РЭП

$$\eta(t) = \zeta(t)\mu(t) + \xi(t). \quad (2)$$



**Рис. 1. Структурная схема радиоэлектронного конфликта:**

ПРД, ПРМ – передатчик и приемник системы связи соответственно;  $s(t)$  – полезный сигнал;  $\mu(t)$ ,  $\xi(t)$  – мультипликативная и аддитивная помехи соответственно;  $\zeta(t)$  – помеха, излучаемая станцией РЭП;  $\eta(t)$  – преднамеренная помеха;  $x(t)$  – случайный процесс на входе приемника

Преднамеренная помеха  $\eta(t)$  в общем случае «добавляется» к случайному процессу  $x(t)$  в (1) и с учетом (2) будет иметь вид

$$x(t) = \mu(t)s(t) + \mu(t)\zeta(t) + \xi(t). \quad (3)$$

Постановка преднамеренных помех может преследовать несколько целей: прервать связь; затруднить связь (повысить вероятность принятия ошибочного бита); ввести ложную информацию в канал связи.

**Способы борьбы с помехами.** Значимость *системы связи критически важных объектов* делает ее объектом информационного противодействия. Следует ожидать того, что система связи (СС) будет непрерывно анализироваться средствами радиотехнической разведки из-за открытого доступа к радиоканалу и подвергаться подавлению *в некоторые моменты времени*. Особенно опасным следует считать возможность проникновения в системы РЭП третьих лиц, непосредственно в канал связи, с целью *введения ложной информации, или взятия его под свой контроль*.

Поэтому, наибольшую опасность для систем связи представляют структурные помехи. Они либо «повторяют» полезный сигнал, но отличаются мощностью, задержкой и рядом других параметров, либо являются копией полезного сигнала. В первом случае они называются имитационными, во втором – ретранслированными. Имитационная помеха по своим статистическим свойствам далека от гауссовского случайного процесса. Анализ ее воздействия необходимо проводить с использованием структурных свойств полезного сигнала и помехи и с учетом распределения их энергии на частотно-временной плоскости [6].

Учитывая особенности связи со стационарно расположенными удаленными объектами, можно утверждать, что при использовании одного или малого количества сменяемых друг друга по заранее установленному правилу типов модуляции сигнала, несущих частот и т.д., обеспечить защищенность канала связи практически весьма затруднительно. В данном случае целесообразным является такой режим связи, при котором обеспечивается обнаружение факта воздействия на канал связи структурной помехи и последующая адаптация канала связи к помеховой обстановке.

В подавляющем большинстве работ при обнаружении помех в канале связи используются только последовательности наблюдаемых данных без привлечения дополнительной информации. Во многих случаях, наряду со слежением за информативной составляющей последовательности, имеется возможность регистрации неинформативного признака, стохастически связанного с наблюдаемой последовательностью данных [7]. Контроль состояния и управление структурой канала связи можно производить с учетом информации индикаторов сопутствующих признаков, представляющих собой измерительные датчики с определенным порогом срабатывания. Таким образом, работа каждого индикатора будет описываться функцией из двух состояний.

Обнаружение факта воздействия помехи может быть осуществлено в результате совместной обработки совокупности индикаторных функций, порождаемых воздействием на канал структурной помехи. Например, в случае одновременного присутствия на входе приемника полезного сигнала с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) и имитационной помехи со случайным моментом запаздывания.

Поскольку в режиме ППРЧ несущая частота передачи  $\omega_k$  сигнала  $s(t)$  в точке расположения станции РЭП в момент  $t_0$  неизвестна, то помеха  $\eta(t)$  в точке приема

появляется со случайной задержкой  $\tau > 0$  относительно момента времени  $t_0 \geq 0$  начала передачи [6]. Для определения факта присутствия или отсутствия структурной помехи в ЗКС необходимо ввести индикаторную функцию  $\gamma(t | \tau)$

$$\gamma(t | \tau) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ 1, & \text{при } \tau < t < \infty. \end{cases} \quad (4)$$

Если за начало передачи сигналов  $s(t)$  в ЗКС принять время  $t_0 \geq 0$ , то структура наблюдаемых на входе приемника реализаций  $x(t)$  из (3) перейдет в

$$x(t) = \mu(t)s(t) + \xi(t) + \gamma(t | \tau)\eta(t). \quad (5)$$

С учетом (4) и (5), реализации  $x(t)$  на входе ПРМ будут иметь вид

$$x(t) = \begin{cases} \mu(t)s(t) + \xi(t), & \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ \mu(t)s(t) + \xi(t) + \gamma(t | \tau)\eta(t), & \text{при } \tau \leq t \leq \infty. \end{cases} \quad (6)$$

В зависимости от вида структурной помехи несущим воздействием индикаторной функции может служить амплитуда, фаза, частота, момент появления и другие характеристики сигналов. Так же следует контролировать уровень и дисперсию шума принимаемого сигнала, информирующего о помеховой обстановке.

Учет в алгоритме функционирования ЗКС необходимой совокупности индикаторных функций представляет собой скрытый резерв повышения помехоустойчивости.

Высокая скорость адаптации алгоритма функционирования ЗКС к существующей помеховой обстановке за счет использования индикаторных функций и изменения способов борьбы с помехами способна истощить информационную систему станции РЭП и минимизировать последствия воздействия организованных помех.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, номер проекта 09-08-00570-а.*

#### *Список литературы*

1. Тузов, Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. – М. : Радио и связь, 1985. – 264 с.
2. Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход / В.И. Борисов, В.М. Зинчук. – М. : Радио и связь, 1999. – 252 с.
3. Куликов, Г.В. Помехоустойчивость приемников модулированных сигналов с непрерывной фазой при наличии нефлуктуационных помех / Г.В. Куликов // Радиотехника. – 2003. – № 7. – С. 21–25.
4. Помехоустойчивость систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью // В.И. Борисов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2003. – 640 с.
5. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи: основы теории и принципы реализации. – М. : Наука, 2009. – 358 с.
6. Варакин, Л.Е. Теория сложных сигналов / Л.Е. Варакин. – М. : Сов. радио, 1970. – 376 с.
7. Павлов, В.И. Оптимальное обнаружение изменения свойств случайных последовательностей по информации измерителя и индикатора / В.И. Павлов // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 1. – С. 54–59.

## Stability to Hindrances of the Radio Channel of Communication with Remote Stationary Objects

V.V. Aksenov, V.I. Pavlov

Department "Design of Radio Electronic and Microprocessor Systems", TSTU;  
avaks\_68@bk.ru

**Key words and phrases:** communication channel; indication functions of hindrances; stability to hindrances.

**Abstract:** Mathematical models of signals and deliberate hindrances with reference to a communication channel with remote stationary objects are considered. The use of set of indication functions of hindrances for increase of stability to hindrances of the channel of radio communication is offered. The example of use of indication function with some deliberate hindrances is presented.

---

## Störungsstabilität des Funkkanals der Kommunikation mit den entfernten Stationarobjekten

**Zusammenfassung:** Es sind die matematischen Modelle der Signale und der vorausgesehenen Störungen in bezug auf den Kommunikationskanal mit den entfernten Stationarobjekten betrachtet. Es ist die Benutzung der Gesamtheit der Indikatorfunktionen der Störungen für die Erhöhung der Störungsstabilität des Funkkanals der Kommunikation vorgeschlagen. Es ist das Beispiel der Benutzung der Indikatorfunktion dargelegt.

---

## Rigidité aux erreurs de la chaîne de liaison de radio avec les objets stationnaires éloignés

**Résumé:** Sont examinés les modèles mathématiques des signaux et des erreurs délibérées conformément à la chaîne de liaison de radio avec les objets stationnaires éloignés. Est proposée l'utilisation de l'ensemble des fonctions indiquées des erreurs pour l'augmentation de la rigidité aux erreurs de la chaîne de liaison de radio, est présenté l'exemple de l'utilisation de la fonction indiquée.

---

**Авторы:** *Аксенов Виктор Владимирович* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Павлов Владимир Иванович* – доктор технических наук, профессор 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».

---