ния исследуемого объекта,покрытого спекл-структурой, находится пространственное положение, при котором величина выходного сигнала с фотодетектора принимает минимальное и максимальное значение. После нахождения данных координат, точечный фотодетектор смещается относительно этих положений в точку, где величины выходного сигнала будет равна полусумме зарегистрированных напряжений. Таким образом, выбранное положение точечного фотодетектора будет соответствовать значению фазового сдвига $\varphi(0)= \pi/2$, что позволяет регистрировать акустический сигнал без искажений.

Проведенные теоретические исследования поведения выходного напряжения с фотодетектора по предлагаемой оптической схеме, построенной на принципах спекл-интерферометрии, показали возможность построение высокочувствительного лазерного микрофона.

Следует отметить, что предлагаемая оптическая схема регистрации акустического сигнала не предъявляет жестких требований к состоянию поверхности, на которую воздействует акустический сигнал. Кроме того, нет жестких требований по расположению исследуемой поверхности, подверженной акустическому сигналу, относительно расположения регистрирующей системы, так как регистрируется диффузно рассеянное лазерное излучение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эволюция микрофонов: от угольного к оптическому. [Электронный ресурс] / Журнал о профессиональном оборудовании и инсталляции, 2007. – Режим доступа: http://www.install-pro.ru/archive/031/74.shtml, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Лазерный микрофон [Электронный ресурс] / Прогноз финансовых рисков, 2008. – Режим доступа: http://www.bre.ru/security/5203.html, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. *Осипов М.Н., Чекменев А.Н, Щеглов Ю.Д.* Особенности регистрации акустического сигнала на основе анализа спекл-структур. // Материалы XII Международной научно-практической конференции "ИБ-2012" Часть II, Таганрог, Изд. ТИЮФУ, 2012. – С. 70 – 75.

4. *Осипов М.Н, Чекменев А.Н. Хохлов В.А.* Развитие цифровой спекл-интерферометрии для исследования динамических процессов в реальном времени // Вестник Самарского госуниверситета. Естественнонаучная серия. – 2013. – №9/2. – С. 109 – 118.

5. *Франсон М.* Оптика спеклов. – М.: Мир, 1980. – 172 с.

6. *Осипов М.Н., Попов М.А., Попова Т.А.* Поведение выходного сигнала в системе измерения на основе оптоэлектронного интерферометра Майкельсона. // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3/1. – С. 38 – 41.

УДК 621.3

А.Н. Бабкин, С.В. Скрыль
Россия, Воронеж, Воронежский институт МВД России

ПОМЕХОЗАЩИТА СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Целью работы является рассмотрение способов обеспечения помехозащиты сетей радиосвязи органов внутренних дел. Приводится критерий функционирования защищенной сети радиосвязи. Проведен расчет радиоканала. Рассмотрена возможность минимизации критического отношения сигнал/помеха при требуемой вероятности ошибочного приема. Рассмотрена возможность применения обратной связи в радиосети для адаптации к помеховой обстановке.

Сеть радиосвязи; радиоканал; помехозащита; защищенность сигнала; отношение сигнал/помеха; вероятность ошибочного приема

A.N. Babkin, S.V. Skryl
Russia, Voronezh, Voronezh Institute of Russian Ministry of Internal Affairs

ANTI-JAMMING RADIO NETWORKS SPECIAL PURPOSE

The purpose of work is consideration of ways of providing a anti-jamming of networks of a radio communication of law-enforcement bodies. The criterion of functioning of the protected radio communication network is given. Calculation of a radio channel is carried out. Possibility of minimization of the critical relation a signal/hindrance is considered at the demanded probability of wrong reception. Possibility of application of feedback in a radio network for adaptation to an interfering situation is considered.

Radio communication network; radio channel; anti-jamming; security of a signal; relation signal/hindrance; probability of wrong reception.

Сети радиосвязи органов внутренних дел (СРС ОВД) относятся к сетям связи специального назначения, которые предназначены для нужд органов государственной власти и обеспечения правопорядка [1]. Они должны соответствовать требованиям по обеспечению своевременности, надежности и защищенности связи.

Своевременность – способность обеспечивать передачу (прием) информации в сроки, обусловленные оперативной обстановкой.

Надежность связи – способность обеспечить непрерывное управление деятельностью ОВД в любых условиях оперативной обстановки.

Защищенность (безопасность) связи – способность обеспечить скрытность, конфиденциальность, целостность и доступность информации легальным пользователям [2, 3].

Указанным требованиям должна отвечать защищенная СРС ОВД.

В [4] дается определение потенциально защищенной радиосистемы, как системы, в которой обеспечивается потенциальная помехозащищенность и потенциальная скрытность.

Можно определить защищенную СРС ОВД как радиосеть, в которой обеспечивается требуемая защищенность сигнала ЗС [5]:

$$ЗС = \frac{P_c}{P_{пом}} \geq \left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)^{тр} \left| \begin{matrix} P_{ош} \leq P_{ош}^{тр} \\ P_{нсд} \geq P_{нсд}^{тр} \end{matrix} \right.$$

где $\frac{P_c}{P_{пом}}$, $\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)^{тр}$ – соответственно отношение сигнал/помеха на выходе радиоканала и отношение сигнал/помеха требуемая, $P_{ош}$, $P_{ош}^{тр}$ – соответственно вероятность ошибочного приёма и вероятность ошибочного приёма требуемая, $P_{нсд}$ и $P_{нсд}^{тр}$ – соответственно вероятность защиты от несанкционированного доступа в радиоканал и вероятность защиты от несанкционированного доступа требуемая.

При этом должно выполняться следующее соотношение:

$$\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)^{тр} = \left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{\min}, \quad (1)$$

где $\left(\frac{P_c}{P_ш}\right)_{\min}$ – минимальное (критическое) отношение сигнал/помеха, при котором обеспечивается помехозащита СРС ОВД.

В [6] определено условие обеспечения помехозащиты радиоканала:

$$\frac{\left(P_{прд.с}\times G_{прд.с}\right)\times\left(\frac{G_{прм.с}}{G_{прм.пом}}\right)\times\left(\frac{L_{ф.пом}\times L_{тр.пом}\times L_{ф.прм.с}}{L_{ф.прд.с}\times L_{тр.с}\times L_{ф.прм.с}}\right)}{\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{\min}}\times\left(\frac{\Delta F\times T}{\rho_{с.пом}}\right)\geq\left(P_{прд.пом}\times G_{прд.пом}\right) \quad (2)$$

где $P_{прд.пом}$ – выходная мощность передатчика (ПРД), формирующего помехи, $G_{прд.пом}$ и $G_{прм.пом}$ – соответственно коэффициенты усиления антенн мешающего ПРД и приемника (ПРМ) СРС ОВД, $L_{ф.пом}$, $L_{тр.пом}$ и $L_{ф.прм.с}$ – соответственно потери в фидере мешающего ПРД, на трассе распространения помехи и в фидере ПРМ СРС ОВД, $\rho_{с.пом}$ – коэффициент взаимной корреляции помехи и сигнала, $P_{прд.с}$ – выходная мощность ПРД СРС ОВД, $G_{прд.с}$ и $G_{прм.с}$ – соответственно коэффициенты усиления антенн ПРД и ПРМ СРС ОВД, $L_{ф.прд.с}$ и $L_{тр.с}$ – соответственно потери в фидере ПРД СРС ОВД и на трассе распространения сигнала.

Анализируя выражение (2), можно определить следующие способы обеспечения помехозащиты СРС ОВД:

1. Характеристика антенны ПРМ СРС ОВД (отношение коэффициента усиления сигнала к коэффициенту усиления помехи) должна быть больше единицы:

$$\left(\frac{G_{прм.с}}{G_{прм.пом}}\right) > 1 \cdot$$

2. Характеристика потерь на трассе распространения помехи и сигнала, а также в фидерах ПРМ и ПРД СРС ОВД должна быть больше единицы:

$$\left(\frac{L_{ф.пом}\times L_{тр.пом}\times L_{ф.прм.с}}{L_{ф.прд.с}\times L_{тр.с}\times L_{ф.прм.с}}\right) > 1 \cdot$$

3. Минимизация критического отношения $\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{\min}$ сигнал/помеха, при котором обеспечивается помехозащищенность радиоканала.

4. Снижение коэффициента корреляции $\rho_{с.пом}$ сигнала и помехи, которое достигается применением кодирования сигнала.

5. Применение сигналов с большой базой B:

$$B = \Delta F \times T \ .$$

Одной из важнейших составляющих обеспечения помехозащиты СРС ОВД является минимизация критического отношения $\left(\frac{P_c}{P_{пом}} \right)_{\min}$ сигнал/помеха, а также реализация обратной связи для адаптации к помеховой обстановке.

Рассмотрим возможность минимизации критического отношения сигнал/помеха, при котором обеспечивается помехозащита СРС ОВД.

В цифровых системах безопасности с использованием радиоканала вероятность ошибочного приёма можно определить следующим образом [7]:

$$P_{ош} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \right)^{q-1} \right] e^{-\frac{\left(y - \sqrt{2\frac{P_c}{P_ш}} \right)^2}{2}} dy \ , \qquad (3)$$

где $X = \{x_0, x_1, \dots, x_{q-1}\}$ и $Y = \{y_0, y_1, \dots, y_{q-1}\}$– соответственно набор передаваемых сигнальных посылок на входе и выходе радиоканала, в каждой сигнальной посылке q символов.

Для двоичного симметричного канала:

$$P_{ош} = Q\left(\sqrt{2 \frac{P_c}{P_ш}} \right) \qquad (4)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x}^{\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt$$

При нормальном законе распределения помехи в радиоканале и равновероятностном априорном распределении битовой информации 1 и 0 на основании (3) и (4) в табл. 1 приведены расчетные значения $P_{ош}$ и $P_с/P_{пом}$.

Таблица 1

Расчетные значения $P_{ош}$ и $P_с/P_{пом}$

$P_{ош}$	$P_с/P_{пом}$, дБ
10^{-1}	6
10^{-2}	10
10^{-3}	12
10^{-4}	14
10^{-5}	16
10^{-6}	18

На основании расчетных данных, приведенных в табл. 1, можно определить параметры радиоканала и, в частности, бюджет потерь и максимальную дальность связи между абонентами СРС ОВД при требуемой защищенности сигнала, определяемой (1) и (2).

На рис. 1 представлена структурная схема направления связи, образованного ПРД базовой радиостанции (БС) и ПРМ абонентской радиостанции (АС).

На этом рисунке А – антенна, $P_{прд.с}$– мощность сигнала на выходе ПРД БС, дБм, $L_{ф.прд.с}$ и $L_{ф.прм.с}$ – соответственно потери в фидере ПРД БС и ПРМ АС, дБ,

$L_{тр.с}$ – потери сигнала на радиотрассе, дБ, $G_{прд.с}$ и $G_{прм.с}$ – соответственно усиление антенн ПРД БС и ПРМ АС, дБ, $(P_с/P_{пом})_{вх}$ – защищенность сигнала на входе ПРМ АС, дБ, $К_ш$– коэффициент шума ПРМ АС, дБ, $(P_с/P_{пом})_{вых}$ – защищенность сигнала на выходе ПРМ АС, дБ.

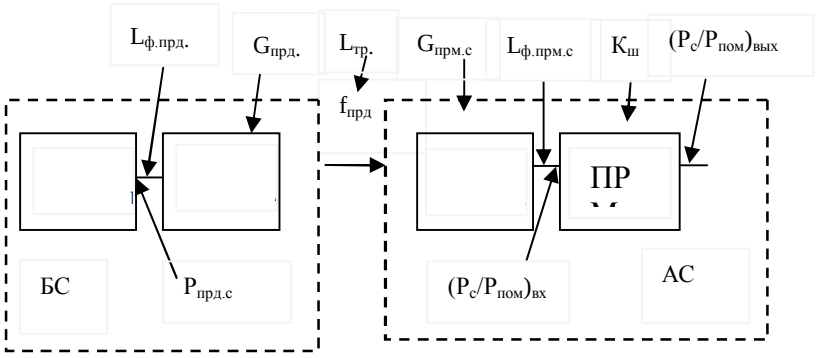

Рис. 1. – Структурная схема направления связи, образованного ПРД БС и ПРМ АС

Защищенность сигнала на выходе ПРМ АС будет определяться выражением:

$$\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{вых} = \left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{вх} - K_ш \text{, дБ,}$$

откуда

$$P_c = \left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{вых} + K_ш + P_{пом.вх} \text{, дБм,} \qquad (5)$$

где $P_{пом.вх}$ – мощность шумов на входе ПРМ ПЦО, дБм.

В свою очередь:

$$P_c = P_{прд.с} - L_{ф.прд.с} + G_{прд.с} - L_{тр.с} + G_{прм.с} - L_{ф.прм.с} \text{, дБм} \qquad (6)$$

Из (5) и (6) можно определить потери $L_{тр.с}$ на радиотрассе.

Используя статистическую модель Окумура-Хата, можно определить максимальную дальность связи между БС и АС СРС ОВД при требуемой защищенности сигнала.

В табл. 2 определены параметры радиоканала СРС ОВД и, в частности, бюджет потерь и максимальная дальность связи между БС и АС при требуемой защищенности сигнала, определяемой в 14 дБ, и вероятности ошибочного приема $Р_{ош} = 10^{-4}$.

В приведенной табл. 2 $Р_ч$ – чувствительность ПРМ АС, $h_{прм}$ и $h_{прд}$– соответственно высоты подъема антенн ПРД БС и ПРМ АС.

Рассмотренная методика позволяет обеспечить помехозащиту СРС ОВД в зависимости от требуемого значения вероятности ошибочного приёма $P_{ош}^{тр}$ и критического отношения сигнал/помеха $\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{\min}$.

Таблица 2

Расчетные значения направления связи БС→АС

Параметры радиоканала	Направление связи БС→АС
$P_{ош}$	10^{-4}
$P_{прд.с}$, дБм	17
$L_{ф.прд.с}$, дБ	3
$L_{ф.прм.с}$, дБ	3
$G_{прд.с}$, дБ	6
$G_{прм.с}$, дБ	6
$K_{ш}$, дБ	3
$f_{прд}$, МГц	160,0
d, км	7
$P_{ч}$, дБм	-113
$P_{пом.вх}$, дБм	-130
$h_{прм}$, м	3
$h_{прд}$, м	30

Помеховая обстановка, где функционируют СРС ОВД, может меняться, а, следовательно, могут меняться требования к помехозащите. С этой точки зрения необходима адаптация радиосетей к изменяющимся внешним условиям.

Существуют способы обеспечения помехозащищенности радиоканала, связанные с применением помехоустойчивых кодов или сложных сигналов с большой базой [7]. Применение помехоустойчивых кодов эквивалентно расширению спектра сигнала или увеличению времени передачи информации, что приводит к усложнению аппаратуры, введению информационной и аппаратурной избыточности, что в условиях изменяющейся помеховой обстановки не всегда оправдано.

При меньшей интенсивности помех можно обойтись меньшей информационной и аппаратурной избыточностью, что в конечном итоге способствует повышению скорости передачи информации.

В этом случае целесообразно предусмотреть в СРС ОВД наличие обратного канала между радиостанциями с возможностью анализа переданных данных и принятия решения об обеспечении помехозащиты. СРС ОВД, использующие такой канал, можно отнести к радиосетям с обратной связью.

На рис. 2 представлена структурная схема СРС ОВД с обратной связью, построенная по принципу двухчастотного симплекса, где УУ – устройство управления, f_1 и f_2 – частоты работы СРС, $АБ_i$ и $АБ_j$ – абоненты СРС, РТР – ретранслятор.

В [8] приводится способ контроля радиоканала, реализованный в СРС ОВД, структурная схема которой представлена на рис. 2.

Данный способ контроля отличается быстродействием и достоверностью передачи информации. Так, при скорости передачи информации в радиоканале 9600 бит/с на частоте 160 МГц время контроля составляет не более 1 с, что позволяет применять разработанный способ для обеспечения помехозащиты СРС ОВД в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, одними из способов обеспечения помехозащиты СРС ОВД является минимизация критического отношения $\left(\frac{P_c}{P_{пом}}\right)_{\min}$ сигнал/помеха, а также применение обратной связи в радиосети для адаптации к помеховой обстановке, отличающиеся меньшей информационной и аппаратурной избыточностью при их реализации в реальных условиях эксплуатации СРС ОВД.

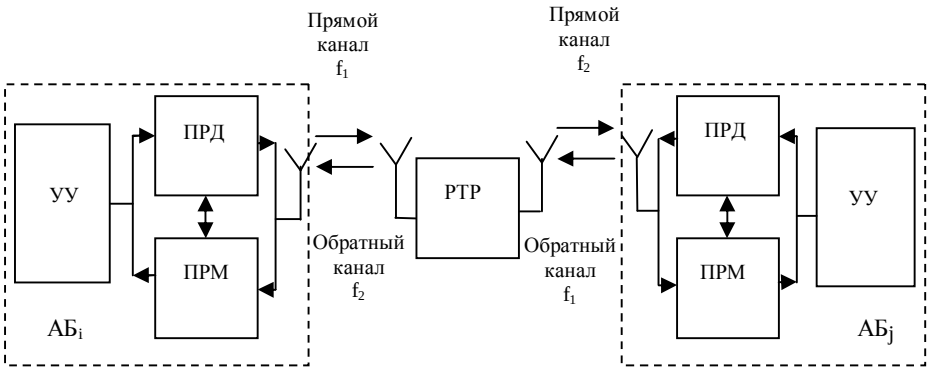

Рис. 2. – Структурная схема СРС ОВД с обратной связью

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ « О связи». Опубликован: Собрание законодательства Российской Федерации от 14 июля 2003 г. № 28 ст. 2895.

2. Федеральный закон РФ от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

3. ГОСТ Р 51275-99. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. Госстандарт России.

4. Защищенные радиосистемы цифровой передачи информации /П.Н. Сердюков [и др]. – М.: АСТ, 2006. – 403 с.

5. *Бабкин А.Н.* Обеспечение безопасности беспроводных каналов связи в информационных системах органов внутренних дел/ Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности в Республике Беларусь: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Минск, 2010. – С. 55 – 58.

6. *Цветнов В.В. Демин В.П., Куприянов А.И.*Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита: учебное пособие.– М.: Изд-во МАИ, 1999. – 240 с.

7. *Золотарев В.В., Овечкин Г.В.* Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник / Под ред.чл.-кор.РАН Ю.Б. Зубарева. – Горячая линия Телеком,2004. – 126 с.

8. *Эсауленко А.В.,Бабкин А.Н.* Способ контроля радиоканала // Вестник Воронежского института МВД России. –2013. – № 1. – С. 8–13.