

А.В. Эсауленко,
ФГКУ УВО ГУ МВД России
по Краснодарскому краю

А.Н. Бабкин,
кандидат технических наук, доцент

СПОСОБ КОНТРОЛЯ РАДИОКАНАЛА

WAY OF CONTROL OF THE RADIO CHANNEL

Рассматривается способ контроля радиоканала в симплексных системах подвижной радиосвязи в реальных условиях эксплуатации. Определено время контроля, отвечающего требованиям по достоверности и своевременности передачи сообщений.

The way of control of a radio channel in simplex systems of a mobile radio communication in actual practice operation is considered. Time of the control which is meeting the requirements on reliability and timeliness of transmission of messages is defined.

В системах подвижной радиосвязи (СПР) надежность и качество связи между абонентами зависят от условий распространения радиоволн. Условия распространения радиоволн могут изменяться от однолучевого распространения между приемником и передатчиком в условиях прямой видимости до многолучевого распространения при многократных отражениях от препятствий (особенно в городских условиях) при отсутствии прямой видимости.

Для обеспечения надежной и качественной связи между абонентами в заданной зоне обслуживания необходимо проводить контроль радиоканала в реальных условиях эксплуатации. Контроль радиоканала в СПР специального назначения (например, органов внутренних дел) необходим и для обеспечения своевременности передачи сообщений. Под своевременностью понимается доведение сообщений от источника до получателя в сроки, обусловленные оперативной обстановкой (в пределах времени, пока содержащаяся в сообщении информация не потеряла ценности для получателя).

Для организации контроля в [1] вводится понятие функциональной живучести радиоканала. Под функциональной живучестью радиоканала понимается его способность обеспечить надежную и качественную связь между абонентами СПР в заданной зоне обслуживания при воздействии помех. Количественной мерой функциональной живучести радиоканала может служить вероятность P_{yc} установления связи между абонентами системы на направлениях связи.

В радиосетях одночастотного симплекса направления связи имеют следующий вид: $AB_i \leftrightarrow AB_j$, где AB — абонент, i и j — номера абонентов с различными типами радиостанций; в радиосетях двухчастотного симплекса: $AB_i \leftrightarrow РТР \leftrightarrow AB_j$, где РТР — дуплексный ретранслятор.

При передаче дискретных данных мы имеем дело с простой системой событий: ошибка есть — ошибки нет. Поэтому в цифровых СПР за количественную меру определения P_{yc} можно принять вероятность правильного приема P_{np} :

$P_{yc} = P_{np} = 1 - P_{ош}$, где $P_{ош}$ — вероятность ошибочного приема данных; $P_{ош} = 10^{-5}$, здесь S , как правило, имеет значение от 3 и выше.

В качестве критерия функциональной живучести радиоканала в цифровых СПР, а, следовательно, обеспечения надежной и качественной связи абонентов можно принять следующее выражение:

$$P_{yc} \geq P_{yc}^{mp} \mid P_{ош} \geq P_{ош}^{mp}, \quad (1)$$

где P_{yc} и P_{yc}^{mp} — соответственно вероятность установления связи между абонентами и вероятность установления связи между абонентами требуемая; $P_{ош}$ и $P_{ош}^{mp}$ — вероятность ошибочного приема и вероятность ошибочного приема требуемая.

Можно определить связь между $P_{ош}$ и отношением сигнал/шум: $P_{ош}$ тем ниже, чем больше интенсивность помехи, то есть чем меньше отношение сигнал/шум. Однако отношение сигнал/шум не единственный фактор, влияющий на $P_{ош}$. Вероятность ошибочного приема может быть разной при одном и том же отношении сигнал/шум.

При нормальном законе распределения помехи и равновероятностном априорном распределении битовой информации 1 и 0 в [2] получены выражения $P_{ош}$ на выходе приемника от отношения $P_c/P_{ш}$ в канале связи соответственно при амплитудной, частотной и фазовой манипуляциях:

$$P_{i\emptyset} = 1 - \hat{O}(0,5\sqrt{q}), (\Delta\emptyset),$$

$$D_{i\emptyset} = 1 - \hat{O}(\sqrt{0,5q}), (\times\emptyset),$$

$$D_{i\emptyset} = 1 - \hat{O}(\sqrt{q}), (\hat{O}\emptyset),$$

где $q = P_c / P_{\emptyset}$.

Интеграл вероятности:

$$\hat{O}(q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^q \exp(-0,5x^2) dx.$$

В таблице приведены значения $P_{ош}$ в зависимости от способа модуляции [2].

$P_{ош}$	Отношение мощностей сигнал/шум, дБ		
	АТ	ЧТ	ФТ
10^{-3}	10	13	16
10^{-4}	12	15	18
10^{-5}	13	16	19
10^{-6}	14	16,5	20
10^{-7}	14,5	17,5	21
10^{-8}	15	18	22

В [3] вводится понятие эффективности функционирования СПР ОВД, которая определяется коэффициентом готовности K_r элементов сети к выполнению своих функциональных задач:

$$K_r \geq 0,999. \quad (2)$$

Радиоканал является важнейшим элементом СПР, и с учетом (2) можно определить $P_{yc}^{mp} \geq 0,999$, а учитывая (1) и (2), а также данные таблицы для ЧТ и ФТ манипуляций, запишем:

$$D_{ош} = \begin{cases} 1, \text{ если } D_{i\emptyset} \leq 10^{-7}, \\ 0,999 \text{ если } 10^{-3} \geq D_{i\emptyset} \geq 10^{-6}. \end{cases} \quad (3)$$

Приведенные рассуждения позволяют рассмотреть способ контроля радиоканала в реальных условиях эксплуатации для цифровых сетей подвижной радиосвязи, построенных по принципу двухчастотного симплекса. На рис. 1 представлена структурная схема радиоканала, состоящего из абонентской радиостанции РС и дуплексного ретранслятора РТР.

На этом рисунке ГКС — генератор контрольного сигнала; М — модулятор; ПРД — передатчик; ПРМ — приемник; ДМ — демодулятор; РУ — решающее устрой-

ство; ФЗ — формирователь задержки; СУ — согласующее устройство; ДФ — дуплексный фильтр; f_1 и f_2 — частоты работы радиоканала.

Способ контроля радиоканала заключается в следующем.

Генератор контрольного сигнала абонентской радиостанции формирует пакет данных, состоящий из N бит, которые поступают на вход модулятора. Несущее колебание, модулированное контрольными битами, излучается передатчиком абонентской радиостанции на частоте f_1 в сторону ретранслятора.

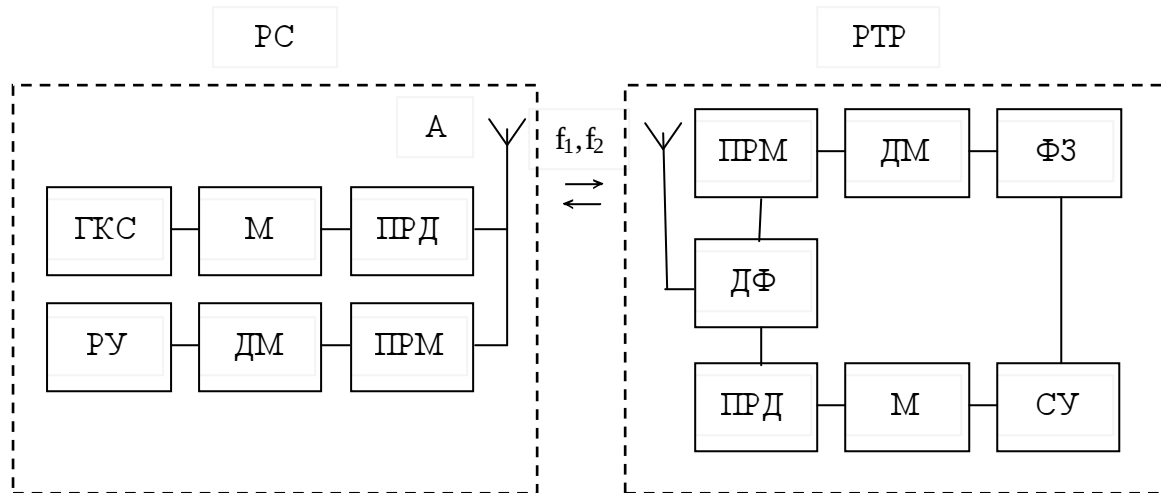


Рис. 1

Приемник ретранслятора принимает контрольный пакет данных, формирует задержку $t_{зд}$, равную времени переключения абонентской радиостанции из режима передачи в режим приема. После этого передатчик ретранслятора на частоте f_2 передает полученные данные абонентской радиостанции. Приемник абонентской радиостанции принимает данные и с помощью решающего устройства определяет вероятность установления связи на направлении $АБ_i \rightarrow РТР \rightarrow АБ_i$.

Если в результате контроля условия (2) и (3) не выполняются (вероятность установления связи на направлении $АБ_i \rightarrow РТР \rightarrow АБ_i$ ниже критерия), алгоритм контроля повторяется при повышенной мощности излучения передатчиком абонентской радиостанции контрольного сигнала (пакета).

Таким образом, контроль радиоканала может состоять из двух циклов: первый цикл осуществляется при пониженной мощности излучения контрольного сигнала абонентской радиостанцией, второй цикл — при повышенной.

Определим общее время контроля радиоканала одного цикла T_Σ :

$$T_\Sigma = T_{PC \rightarrow PTP} + T_{PTP \rightarrow PC}, \quad (4)$$

где $T_{PC \rightarrow PTP}$ — время контроля направления связи абонентская радиостанция — ретранслятор, $T_{PTP \rightarrow PC}$ — время контроля направления связи ретранслятор — абонентская радиостанция.

В свою очередь:

$$T_{PC \rightarrow PTP} = t_p + (t_{kc})_{PTP} + t_{зд}, \quad (5)$$

где t_p — время задержки распространения контрольного сигнала в среде передачи, $(t_{kc})_{PTP}$ — время записи контрольного сигнала приемником ретранслятора, $t_{зд}$ — время задержки контрольного сигнала в ретрансляторе.

$$T_{PTP \rightarrow PC} = t_p + (t_{kc})_{PC} + t_{PY}, \quad (6)$$

где $(t_{kc})_{PC}$ — время записи контрольного сигнала приемником абонентской радиостанции, t_{PY} — время анализа и принятия решения решающим устройством абонентской радиостанции.

С учетом (4), (5) и (6) можно записать:

$$T_{\Sigma} = (t_{kc})_{PC} + (t_{kc})_{PTP} + 2t_p + t_{\text{зад}} + t_{PY}. \quad (7)$$

Примем, что:

$$(t_{kc})_{PC} = (t_{kc})_{PTP} = N/R, \quad (8)$$

где N — количество бит в контрольном сигнале (пакете); R — скорость передачи информации в радиоканале, бит/с.

$$t_{\delta} = S/C,$$

где S — расстояние между абонентской радиостанцией и ретранслятором; C — скорость света.

С учетом (8) длительность контроля радиоканала при одном цикле составит:

$$T_{\Sigma} = \frac{2N}{R} + 2t_p + t_{\text{зад}} + t_{PY}.$$

Таким образом, время контроля зависит от скорости передачи информации R контролируемого радиоканала, количества бит N в контрольном пакете, быстродействия синтезатора частот абонентской радиостанции $t_{\text{зад}}$ и времени анализа и принятия решения решающим устройством абонентской станции $t_{\text{ДО}}$.

Временная диаграмма контроля радиоканала представлена на рис. 2.

Решение о выполнении (3) выносится абонентской радиостанцией по двум условиям:

1. $N = N_k = N_m$.
2. $N \oplus N_m = 0$.

При невыполнении хотя бы одного из условий выносится решение об отсутствии устойчивости направления связи для абонентской радиостанции и необходимости выбора другого местоположения.

S

f₁

t_p

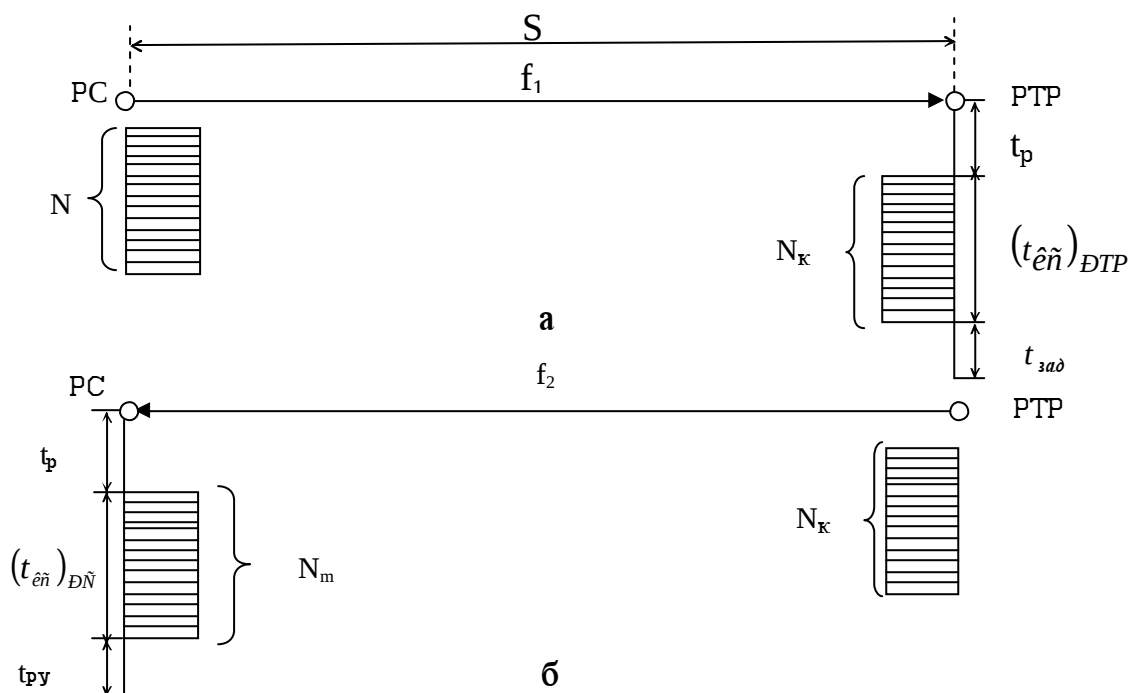


Рис. 2. Временная диаграмма контроля радиоканала: а — направление абонентская радиостанция — ретранслятор; б — направление ретранслятор — абонентская радиостанция

Можно оценить время контроля в существующих системах подвижной радиосвязи, построенных по принципу двухчастотного симплекса. Например, в системах подвижной радиосвязи стандарта APCO 25 [4], использующих четырехуровневую частотную манипуляцию C4FM, со скоростью передачи информации 9600 бит/с для $N=1000$ бит (что удовлетворяет (2) и (3)), $t_{зад} = t_{пу} = 100\text{мс}$ время одного цикла контроля (при пониженной выходной мощности абонентской радиостанции) составит не более 0,5 с, соответственно, время контроля, включающего 2 цикла, — не более 1 с.

Данное время удовлетворяет требованиям по достоверности и своевременности, предъявляемым к СПР специального назначения.

Таким образом, отличительными особенностями предложенного способа контроля радиоканала являются:

1. Возможность проведения контроля радиоканала в реальных условиях эксплуатации симплексных систем подвижной радиосвязи с соблюдением требований, предъявляемых к сетям специальной связи.

2. Принятие решения о вероятности установления связи абонентской радиостанцией с возможностью выбора по результатам контроля местоположения, обеспечивающего надежный и качественный прием сообщений.

3. Возможность формирования кодовой последовательности контрольного сигнала (пакета) генератором случайных чисел, что повышает достоверность контроля: при проведении циклов контроля кодовая последовательность выбирается случайным образом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин А.Н., Авсентьев О.С. Обеспечение функциональной живучести радиоканала // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — №3. — С.116—121.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. — 2-е изд. — М.: Радио и связь, 1982. — 624 с.
3. Защищенные системы связи ОВД: учебное пособие / Бабкин А.Н. [и др.]. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2009. — 91 с.
4. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 432 с.