

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ В КАНАЛЕ С ЗАМИРАНИЯМИ И РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Е.В. Лебеда¹, М.А. Остроумов², О.А. Остроумов¹

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

²Войсковая часть 40273, Москва, 123007, Российская Федерация
Адрес для переписки: oleg-26stav@mail.ru

Информация о статье

УДК 621. 376

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Лебеда Е.В., Остроумов М.А., Остроумов О.А. Вероятность ошибки в канале с замираниями и разнесенным приемом многопозиционных сигналов // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 75–79.

Аннотация: *Статья посвящена использованию различных методов разнесенного приема многопозиционных сигналов в каналах радиосвязи с замираниями. Представлены полученные выражения, позволяющие производить расчет вероятности ошибки в каналах радиосвязи при приеме сигналов квадратурной амплитудной модуляций различной позиционности и различных методах разнесенного приема.*

Ключевые слова: *замирания, разнесенный прием, вероятность ошибки, многопозиционные сигналы, помехоустойчивость, специальные функции.*

THE ERROR PROBABILITY IN THE CHANNEL WITH FADING AND DIVERSITY RECEPTION AT THE MULTIPOSITIONED SIGNALS RECEPTION

E. Lebeda¹, M. Ostroumov², O. Ostroumov¹

¹Telecommunications Military Academy, St. Petersburg, 194064, Russian Federation

²Troop unit 40273, Moscow, 123007, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Lebeda E., Ostroumov M., Ostroumov O. The error probability in the channel with fading and diversity reception at the multipositioned signals reception // Proceedings of educational institutes of communication. 2017. Vol. 3. Iss. 1. PP. 75–79.

Abstract: *The article is dedicated to the different methods using of the multiposition signals diversity reception in the radio communication channels with fading. The received expressions are presented which allow to calculate the error probability in the radio communication channels at the signals reception of the quadrature amplitude modulation of the different positioning and different diversity reception methods.*

Keywords: *fading, diversity reception, error possibility, multiposition signals, immunity, special functions.*

В современной связи использование различных методов разнесенного приема нашло широкое применение. Традиционно разнесенный прием используют для повышения помехоустойчивости системы связи и борьбы с различными замираниями, характерными для каналов радиосвязи. Кроме этого существенное влияние на качество связи, надежность и устойчивость системы связи оказывают различные помехи. Существует много способов защиты от помех [1, 2, 3]: предотвращение перегрузки приемников; компенсация радиопомех; различного рода селекцией сигналов; адаптацией; перестройкой радиочастоты; использование шумоподобных сигналов и т. д.

Хотя разнесенный прием позволяет бороться с замираниями, он также эффективен против помех, присутствующих в каналах радиосвязи [1, 2]. Если в канале связи замирания сигнала отсутствуют, помехоустойчивость при разнесенном приеме определяется степенью корреляции помехи в отдельных ветвях разнесения, также возникает дополнительная возможность повышения помехоустойчивости за счет слабой корреляции сигнала в отдельных ветвях разнесения [4, 5, 6].

При разнесенном приеме сигналов обеспечивается прием одной и той же информации по нескольким параллельным каналам (линиям) связи, которые называют ветвями разнесения. Как правило, на практике используют следующие шесть методов разнесенного приема: по пространству, по времени и частоте, по углу прихода лучей, по поляризации и по отдельным лучам при многолучевом распространении.

Наибольший энергетический выигрыш получают от использования пространственного (по углу прихода лучей или поляризационного) разнесенного приема. Проведенные исследования [4, 5] показали, что при переходе от одиночного к сдвоенному приему имеется выигрыш почти в два раза, а с увеличением количества ветвей выигрыш имеется, но не такой значительный. На практике, кроме пространственного, широкое применение нашли частотное и временное разнесение. Данные методы разнесения также дают определенный энергетический выигрыш при увеличении количества ветвей разнесения (хотя и меньший, чем при пространственном разнесении), но в этом случае при неизменной скорости и мощности передатчика длительность элемента уменьшается в L раз (где L – количество ветвей разнесения).

Выбор количества ветвей разнесения может определяться по различным критериям: минимальной стоимости, максимальной помехоустойчивости или помехозащищенности и т.д. В данной работе критерием выбора числа ветвей является минимум средней вероятности битовой ошибки: $\arg\min_L P_b(L, h_{bc}^{2*})$, где вероятность ошибки в общем случае зависит от h_{bc} – отношения сигнал/шум, количества ветвей разнесения и от параметров, характеризующих замирания [4].

Так же использование в современной технике связи многопозиционных сигналов ФМ и переход на работу перспективными сигналами КАМ приводит к увеличению скорости передачи информации, однако при увеличении позиционности данных сигналов количества ошибок при сохранении схемы демодуляции и декодирования также увеличивается, что создает проблемы при использовании данных сигналов в каналах с низкой помехоустойчивостью (каналах с замираниями). Кроме этого качество радиосвязи зависит от условий распространения радиоволн и интенсивности воздействия помех различной природы, что так же ведет к ухудшению помехоустойчивости.

В связи с этим исследование различных видов разнесенного приема многопозиционных сигналов с целью повышения помехоустойчивости приема многопозиционных сигналов в линиях радиосвязи в условиях замираний и помех является перспективным и актуальным.

Как известно [1, 7], для сигналов КАМ- M при $M = 2^K$ средняя вероятность битовой ошибки рассчитывается по формуле:

$$P_b = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^{\sqrt{M}-1} a_{2j-1} Q\left(\sqrt{2g_{2j-1}h_{bc}^2}\right), \quad (1)$$

где $P_b = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_{bi}$ – средняя вероятность битовой ошибки; $K = \log_2 M$, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функция Гаусса; $g_{2j-1} = (2j-1)^2 \frac{3K}{2(M-1)}$ – параметр, определяемый сигнальной конструкцией.

При наличии в канале связи замираний Райса-Накагами, используя свойства Q -функции Гаусса и функции Оуэна [7], можно получить выражение для расчета вероятности битовой ошибки в условиях АБГШ:

$$P_b = \frac{2}{K} \sum_{j=1}^{\sqrt{M}-1} a_{2j-1} H_p \left(\sqrt{\frac{2g_{2j-1}h_{bc}^2 k^2}{g_{2j-1}h_{bc}^2 + m + k^2}}, \sqrt{\frac{g_{2j-1}h_{bc}^2}{g_{2j-1}h_{bc}^2 + m + k^2}}, \infty \right), \quad (2)$$

где $H_\nu(z, b, \eta) = \frac{(1-b^2)^\nu}{2\pi} \int_0^{\arctg \eta} \frac{\cos^{2\nu} pt}{(1-(1-b^2)\sin^2 t)^\nu} e^{-\frac{z^2}{2} \frac{1}{1-(1-b^2)\sin^2 t}} dt$ – специальная интегральная функция H , $\nu \geq 0$, $0 \leq b^2 \leq 1$, $\eta \geq 0$;

$k^2 \geq 0$ – коэффициент, который характеризует глубину замираний (при $k^2 \rightarrow \infty$ канал без замираний);

m – коэффициент, характеризующий глубину замираний Накагами.

С учетом методики, представленной в [1, 4] и выражения (2) для разнесенного приема на L ветвей выражение для расчета вероятности средней битовой ошибки в условиях АБГШ и замираний Райса-Накагами примет вид:

$$P_b = \frac{2}{K} \sum_{j=1}^{\sqrt{M}-1} a_{2j-1} H_L \left(\sqrt{L} \sqrt{\frac{2g_{2j-1} h_{bc}^2 k^2}{g_{2j-1} h_{bc}^2 + L^\lambda (m+k^2)}}, \sqrt{\frac{g_{2j-1} h_{bc}^2}{g_{2j-1} h_{bc}^2 + L^\lambda (m+k^2)}}, \infty \right), \quad (3)$$

где L – число ветвей разнесения $L \geq 1$; в каждой ветви разнесения отношения сигнал/шум есть величина $h_{bc}^2 = E_l/N_l$, $l = \overline{1, L_1}$. Для разнесенного приема справедливо соотношение $h_{bc}^{2*} = h_{bc}^2/L^\lambda$, где h_{bc}^2 – среднее отношение сигнал/шум в одной отдельной ветви разнесения и $\lambda \in [0, 2]$ – коэффициент эффективности использования мощности передатчика при разнесенном приеме [5, 6].

На рисунке 1 показаны зависимости вероятности средней битовой ошибки от отношения сигнал/шум при пространственном разнесенном приеме сигнала КАМ-16 при а) релейских и б) райсовских замираниях, а также приеме сигнала КАМ-64 при в) релейских и г) райсовских замираниях.

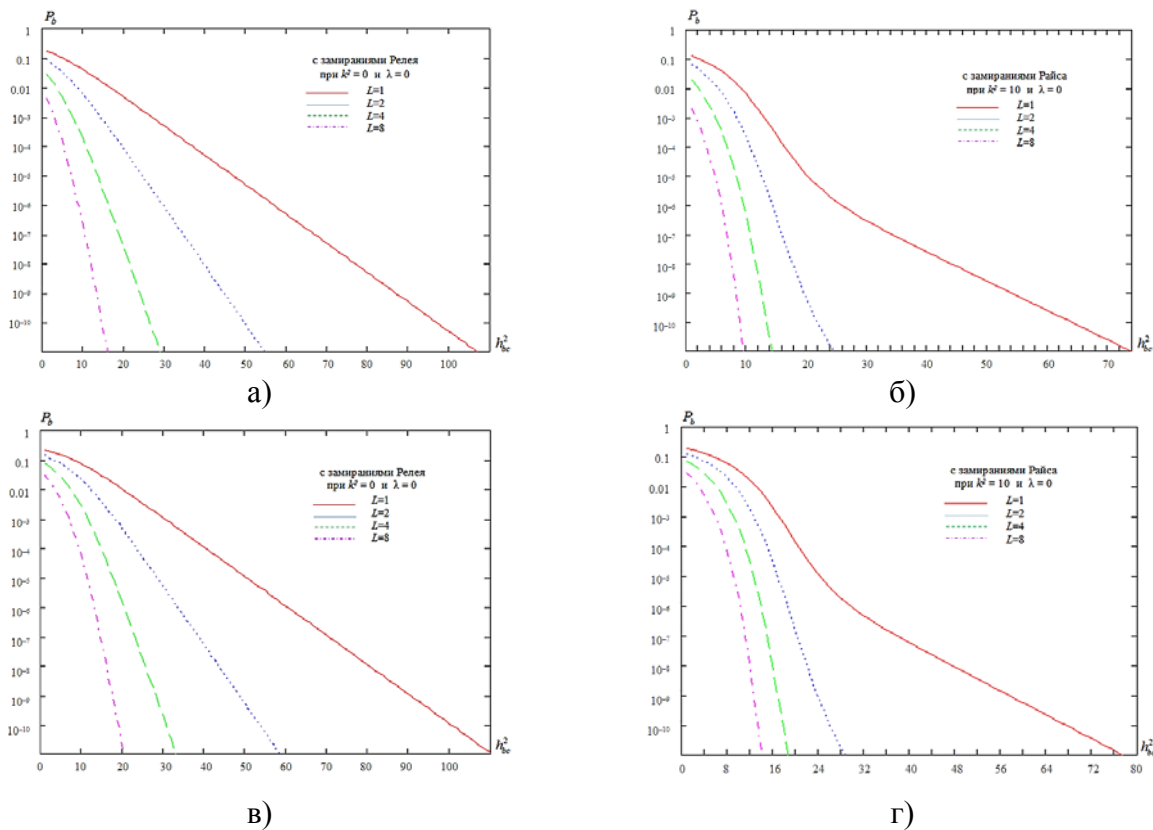


Рисунок 1. Зависимость вероятности средней битовой ошибки от отношения сигнал/шум при пространственном разнесенном приеме:

- а) сигнала КАМ-16 и релейских замираниях; б) сигнала КАМ-16 и райсовских замираниях;
- в) сигнала КАМ-64 и релейских замираниях; г) сигнала КАМ-64 и райсовских замираниях

При частотном разнесенном приеме многопозиционных сигналов (см. рис. 2) выигрыш в помехоустойчивости есть, однако он меньше, чем при пространственном разнесении.

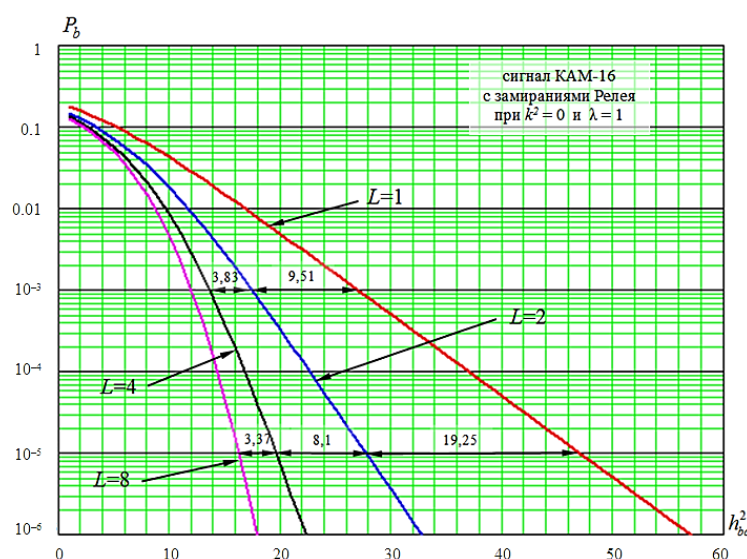


Рисунок 2. Зависимость вероятности средней битовой ошибки от отношения сигнал/шум при частотном разнесенном приеме сигнала КАМ164 и релейских замираниях

Таким образом, использование различных методов разнесенного приема позволяет существенно повысить помехоустойчивость приема сигналов, что важно для систем связи, в которых используются многопозиционные сигналы, так как с увеличением позиционности и скорости передачи информации помехоустойчивость уменьшается. Кроме этого, полученные выражения позволяют производить расчет вероятности ошибки в канале радиосвязи с различными типами замираний при приеме многопозиционных сигналов разной позиционности во всем диапазоне отношения сигнал/шум.

Список используемых источников

1. Остроумов О.А., Савищенко Н.В. Расчет оптимального и рационального числа ветвей разнесения в каналах связи с аддитивным белым гауссовым шумом и общими замираниями Райса-Накагами // Информационно-управляющие системы. 2016. № 6 (79). С. 71–80.
2. Игнатов В.В., Сахнин А.А. Развед- и помехозащищённость систем и средств военной связи. СПб.: ВУС, 2001. 212 с.
3. Филимонов В.А., Грецев В.П., Остроумов О.А., Давыдов А.В. Оценка помехоустойчивости системы связи от ошибок частотной и временной синхронизации // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2015. № 1. С. 25–32.
4. Остроумов О.А., Савищенко Н.В. Оценка помехоустойчивости каналов связи с замираниями и разнесенным приемом // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: материалы V международной научно-технической и научно-методической конференции. СПб.: СПбГУТ. 2016. С. 503–507.
5. Андронов И.С., Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. М.: Сов. радио. 1971. 408 с.
6. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Радио и связь. 1982. 362 с.
7. Савищенко Н.В. Специальные интегральные функции, применяемые в теории связи: монография. СПб.: Военная академия связи. 2012. 560 с.