

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ КВ-СВЯЗИ НА ГРУППЕ ЧАСТОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТНОЙ АДАПТАЦИИ

М.С. Вылегжанин¹, О.А. Михалёв¹

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация
Адрес для переписки: siniy15@mail.ru

Информация о статье

УДК 621.396.24

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Вылегжанин М.С., Михалёв О.А. Расчет пропускной способности системы КВ-связи на группе частот при использовании частотной адаптации // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 21-27.

Аннотация: Рассмотрена методика расчета пропускной способности системы коротковолновой радиосвязи. Данный расчет доказывает, что использование частотной адаптации способно увеличить пропускную способность КВ-радиосвязи.

Ключевые слова: коротковолновая радиосвязь, пропускная способность, частотная адаптация.

CAPACITY CALCULATION OF HF COMMUNICATION SYSTEMS ON GROUP OF FREQUENCIES AT USE OF FREQUENCY ADAPTATION

M.S. Vilegzhanin¹, O.A. Mihaljov¹

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

Article info

Article in Russian

For citation: Vilegzhanin M., Mihaljov O. Capacity calculation of HF communication systems on group of frequencies at use of frequency adaptation // Proceedings of educational institutes of communication. 2017. Vol. 3. Iss. 1. PP. 21-27.

Abstract: The method of calculation of throughput of the system shortwave (HF) radio communications. This calculation proves that the use of frequency adaptation can increase the throughput of HF radio.

Keywords: shortwave radio, bandwidth, signal and frequency adaptation.

Загрузка КВ-диапазона станционными помехами отличается крайней неравномерностью. С одной стороны, это обусловлено независимостью изменений уровней помех на частотах связи при их соответствующем разносе, а с другой стороны – процессом включения и выключения станционных помех. В этих

условиях существенного повышения эффективности радиосвязи можно достичь путем целенаправленного маневра частотами связи в соответствии с изменяющейся помеховой обстановкой.

Представим, что есть случайный процесс изменения отношения сигнала к шуму (ОСШ) в течение некоторого времени t , а также пороговое ОСШ (Z_1) и ОСШ которое может обеспечить принятая форма сигнала (рис. 1).

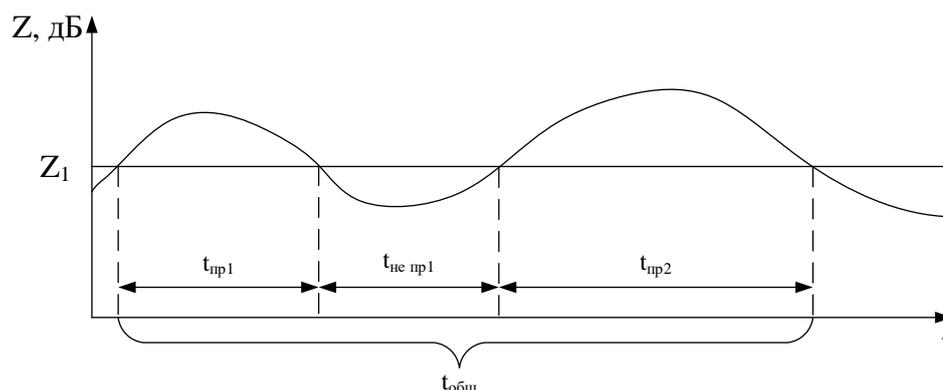


Рисунок 1. График случайного распределения отношения сигнала к шуму в течение времени t

Так как уровни сигналов и помех являются случайными функциями времени, то осуществить радиосвязь с достоверностью, не хуже заданной возможно лишь с некоторой вероятностью. По данному графику можно найти вероятность того, что фактическое ОСШ будет превышать допустимое:

$$P_{Z_1 \geq Z} = \frac{t_{\text{пр1}} + t_{\text{пр2}} + \dots + t_n}{t_{\text{общ}}}$$

Аналитически вероятность связи с достоверностью, не хуже заданной, определяется выражением:

$$P(D \leq D_{\text{доп}}) = P(z \geq z_{\text{доп}}) = \int_{z_{\text{доп}}}^{\infty} w(z) dz, \quad (1)$$

где $D_{\text{доп}}$ – допустимые потери достоверности;

$z_{\text{доп}}$ – требуемое превышение уровня сигнала над уровнем помех, при котором обеспечивается заданная достоверность приёма информации;

$w(z)$ – плотность распределения вероятностей значений z в канале радиосвязи.

Для числовых расчетов вероятности связи по выражению (1) необходимо задать требования по достоверности приёма информации, а также знать конкретный вид распределения $w(z)$.

Согласно статистическим данным [1] распределение уровней сигналов и помех во времени подчиняется нормальному закону. Вследствие этого отношение уровней сигналов и помех также распределено по нормальному закону:

$$w(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left\{-\frac{(z - \bar{z})^2}{\sigma_z^2}\right\}, \quad (2)$$

где \bar{z} – превышение среднего уровня сигнала над средним уровнем помех,

$\sigma_z = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$ – среднеквадратичное отклонение,

σ_x – рассеяние уровней сигнала на выходе передатчика, обычно для дневных сеансов радиосвязи $\sigma_x = 3 \div 5$ дБ,

σ_y – рассеяние уровней сигнала на входе приёмника, обычно для дневных сеансов радиосвязи $\sigma_y = 8 \div 12$ дБ.

С учетом (2) аналитическое выражение для расчета вероятности связи с достоверностью, не хуже заданной можно записать в виде:

$$P(D \leq D_{\text{доп}}) = P(z \geq z_{\text{доп}}) = F(\xi), \quad (3)$$

где $\xi = \frac{\bar{z} - z_{\text{доп}}}{\sigma_z}$ – расчетный параметр интеграла вероятности;

$F(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} \exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\} dt$ – интеграл вероятности.

Зная вероятность связи с достоверностью не хуже заданной, легко рассчитать среднюю скорость передачи информации:

$$\bar{C} = C_3 F(\xi),$$

где C_3 – эксплуатационная скорость передачи информации, бит/с.

Произведем расчет сигнала на закрепленной частоте. Требуемое превышение уровня сигнала над уровнем помех ($z_{\text{доп}}$) определяется по рис. 2 для сигнала 4-PSK при $BER = 10^{-3}$, это значение равно 17,5 дБ.

Превышение среднего уровня сигнала над средним уровнем помех (\bar{z} , дБ) по экспериментальным данным для фазовой модуляции [2] равняется 27 дБ. Среднеквадратичное отклонение будет равняться, дБ: $\sigma_z = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13$. Расчетный параметр интеграла вероятности ξ равен: $\xi = \frac{27-17,5}{13} = 0,731$.

Теперь через интеграл, представленный в (3), возможно рассчитать аналитическую вероятность связи при заданной вероятности ошибки $BER = 10^{-3}$, которая равна: $F(\xi) = 0,718$.

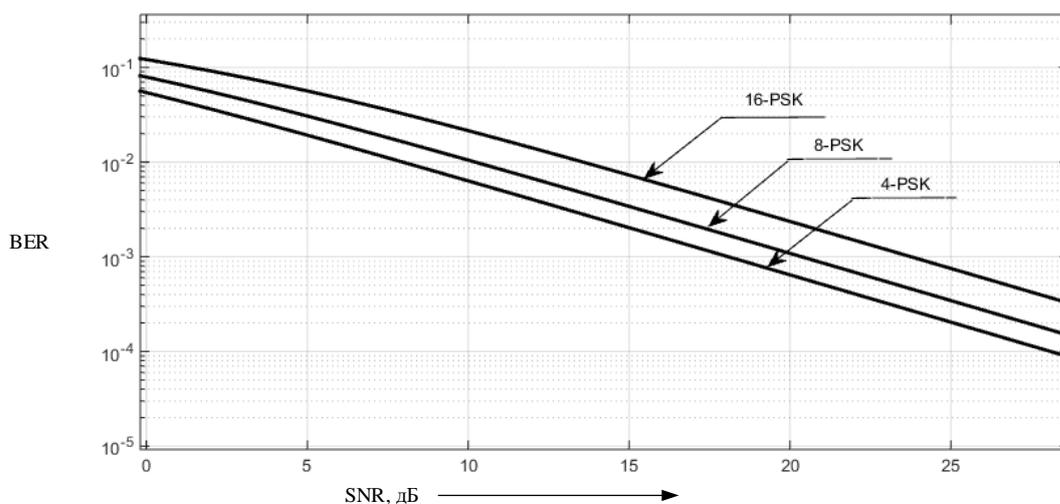


Рисунок 2. Графики помехоустойчивости многопозиционной фазовой модуляции при наличии замираний в канале

Полоса пропускания в дискретном канале (W) равна 3100 Гц. Пропускная способность дискретного канала, по которому передается $m = 4$ дискретных сигналов вычисляется как: $C_3 = W(\log_2(m))$. Средняя скорость передачи информации, при условии что эксплуатационная скорость передачи информации $C_3 = 6200$ бит/с, равняется $\bar{C} = 6200 \times 0,718 = 4451,627$ бит/с.

Загрузка КВ-диапазона стационарными помехами отличается крайней неравномерностью. С одной стороны, это обусловлено независимостью изменений уровней помех на частотах связи при их соответствующем разносе, а с другой – процессом включения и выключения стационарных помех. В этих условиях существенного повышения эффективности радиосвязи можно достичь путем целенаправленного маневра частотами связи в соответствии с изменяющейся помеховой обстановкой.

Системы радиосвязи, реализующие метод группового использования частот связи, могут отличаться критериями выбора и смены частот, способами дистанционного управления передатчиком корреспондента и т. д. Однако при расчете показателей эффективности таких систем можно воспользоваться следующей достаточно общей методикой.

Из рис. 2, видно, что в области высоких отношений сигнал шум возможна передача с гораздо более высокой скоростью, чем в области низких значений. Передача на группе частот позволяет увеличить пропускную способность.

Для наглядности на рис. 3 приведена упрощённая структура КВ-радиоканала с использованием группы частот, где наглядно продемонстрирована частотная адаптация. С помощью приведённой адаптации передача ведется на трёх частотах, следовательно, если на одной из частот отношение сигнал шум будет превышать допустимое, передатчик перестраивается на более благоприятную частоту, тем самым передача не прекращается.

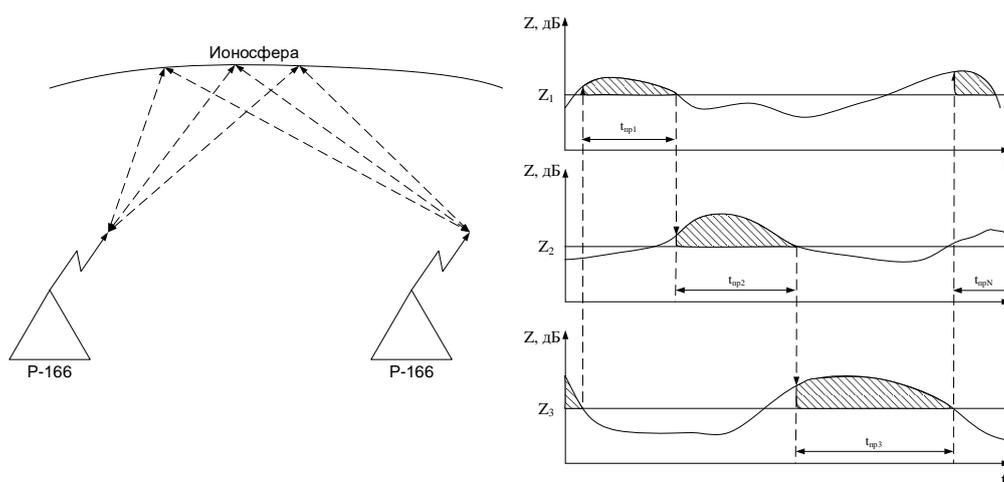


Рис. 3. Структура использования нескольких радиоканалов в КВ-радиосвязи

Пусть для N радиолиний выделена общая группа из Q частот. При этом, независимо от числа радиолиний и способов выбора и смены частот связи, для каждой из них вероятность обеспечения связи с достоверностью, не хуже заданной, определяется выражением:

$$P_{QN}(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош доп}}) = P_{QNи} \left(1 - \frac{\bar{\tau}_{\text{п}}}{\bar{\tau}_{\text{р}} + \bar{\tau}_{\text{п}}} \right),$$

где $P_{QNи}$ – вероятность того, что для данной радиолинии в любой момент времени найдется хотя бы одна частота, на которой можно осуществить радиосвязь с требуемым качеством, или иными словами, вероятность обеспечения связи на некоторой идеальной радиолинии с мгновенной заменой частот связи;

$\bar{\tau}_{\text{п}}$ – среднее время, затрачиваемое на смену частоты связи;

$\bar{\tau}_{\text{р}}$ – среднее время работы на одной частоте связи.

Если предложить, что все частоты связи в статическом смысле одинаковы, а критерием их смены является ухудшение качества связи ниже установленной нормы, то значение $P_{QNи}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{QNи} = \sum_{k=0}^{N-1} C_Q^k P_1^k (1 - P_1)^{Q-k} \frac{N - k}{N},$$

где $P_{QNи}$ – вероятность связи с качеством не хуже требуемого на одной закрепленной частоте;

$C_Q^k = Q! / k!(Q - k)!$ – возможные совпадения.

Среднее время работы на одной частоте $\bar{\tau}_{\text{р}}$ в общем случае зависит не только от требований к достоверности передаваемой информации, помехо-

устойчивости применяемых для связи сигналов и от самих условий ведения связи, но и от способа выбора частот связи из числа резервных. Наиболее простыми в технической реализации являются выбор любой пригодной по уровню помех частоты или частоты с минимальным уровнем помех. И хотя второй способ более предпочтителен, как в первом, так и во втором случае:

$$\bar{\tau}_p = \frac{1}{2} \bar{\tau}_{\text{пр}}(z_{\text{доп}}),$$

где $\bar{\tau}_{\text{пр}}(z_{\text{доп}})$ – среднее время пригодного состояния радиоканала при связи на закрепленной частоте, рассчитываемое по формуле, мин:

$$\bar{\tau}_{\text{пр}}(z_{\text{доп}}) = 2\pi\tau_x \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{\sigma_X^2}} F(\xi) \exp\left\{\frac{\xi^2}{2}\right\},$$

где τ_x – интервал корреляции уровней помех во времени (равен 3,5 мин).

Произведем расчет сигнала на группе частот, результаты занесены в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные параметры для группы частот

Количество частот (N)	$N = 1$	$N = 3$
Вид модуляции	4-PSK	4-PSK
Отношение сигнал шум (SNR), дБ	17,5	17,5
Вероятность связи с качеством не хуже требуемого на одной закрепленной частоте ($F(x)$).	0,718	0,718
Вероятность обеспечения связи (P_{QN}) с достоверностью не хуже, чем 10^{-3}	0,718	0,978
Длительность пригодного состояния радиоканала ($\tau_{\text{пр}}(z_{\text{доп}})$), мин	–	27,507
Среднее время работы на одной частоте (τ_p), мин	–	13,753
Пропускная способность канала \bar{C} , бит/с	4451,63	5995,6

Требуемое превышение уровня для сигнала над уровнем помех ($z_{\text{доп}}$) возьмем 17,5 дБ. Пропускная способность на группе частот, при условии что средняя скорость передачи информации $C_э = 6200$ бит/с, определяется по формуле, бит/с:

$$C_{\text{гр}} = C_э \times P_{QN}(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош доп}}).$$

По результатам расчетов можно судить об увеличении вероятности обеспечения связи, и соответственно увеличении пропускной способности канала.

Очевидно, что увеличивая число поддиапазонов (в каждом из которых работает определённая сигнально-кодовая конструкция), можно добиться су-

ществленного увеличения показателя эффективности адаптивной системы радиосвязи по сравнению с неадаптивной. Однако в реальности увеличение числа поддиапазонов может повлечь за собой снижение устойчивости системы связи и рост объема служебных данных, необходимых для согласованной смены сигнально-кодовых конструкций на приемной и передающей сторонах.

Снижение устойчивости объясняется прежде всего тем, что с увеличением числа поддиапазонов, уменьшается ширина каждого из них. Отношение сигнал/шум в канале изменяется произвольным образом и на произвольную величину. Следовательно, возможна ситуация, когда в быстро меняющемся канале связи будут циркулировать только пакеты автоматизированной адаптации. Полоса пропускания канала в этом случае будет расходоваться на попытки синхронизации системы.

Кроме того, для повышения устойчивости адаптивной системы на границах смены рабочих скоростей должна быть предусмотрена зона защитного гистерезиса. В силу приведенных выше причин, максимальное число поддиапазонов в системах связи ВЧ-диапазона более шести не целесообразно.

Список используемых источников

1. Комашинский В.И., Максимов А.В. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации. М.: Горячая линия – Телеком. 2007. 176 с.
2. Иванов В.А, Рябова Н.В., Бахракова М.И. Экспериментальное исследование диапазонов оптимальных рабочих частот // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Радиофизика». 2010. 3(1). С. 87–94.
3. Благовещенский Д.В. Радиосвязь и электромагнитные помехи: учебное пособие. СПб.: СПбГУАП. 2002. 70 С.