

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЧС В СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОВЕЩАНИЯ

В.Л. Тамилин, С.Н. Паньчев*

В статье рассматривается критерий эффективности использования РЧС сетей РЭС, в котором применяются конкретные виды и параметры модуляции по отношению к потенциальному минимуму, обеспечиваемому идеальной радиосистемой.

Ключевые слова: «идеальная радиосистема», радиосвязь, модуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших вопросов, возникающих при организации любой радиослужбы в отведенной для ее работы полосе частот, является следующий: какая минимальная полоса частот требуется для покрытия региона сетью примыкающих зон обслуживания, в каждой из которых должно быть организовано заданное число частотных каналов? Этот вопрос в течение ряда лет изучался в 1-й Исследовательской комиссии Бюро радиосвязи МСЭ, и результаты выполненных в этом направлении исследований отражены в Отчете МСЭ [1] и Справочнике по управлению РЧС [2]. Один из подходов к решению этого вопроса для сетей подвижной связи и вещания, который отражен в [1-4], изложен в данной статье.

Целью статьи является возможность определять допустимые отклонения характеристик приемного и передающего оборудования от идеальных, рассматривая их влияние на изменение эффективности использования РЧС.

При определении минимальной полосы частот, необходимой для покрытия региона сетью примыкающих зон обслуживания, исходными данными являются технические характеристики приемного и передающего оборудования, метод модуляции и требования к качеству воспроизведения информации. Однако важно знать не только минимальную полосу частот, которую необходимо выделить для создания такой сети, вид модуляции, используемый для передачи сообщений, но и потенциальный предел сокращения полосы частот в сетях связи и вещания при применении оптимальных методов передачи и приема сигналов с идеальными характеристиками приемопередающего оборудования. Такую предельно минимальную полосу, необходимую для создания сети радиосвязи или вещания, которая дальше обо-

значена $F_{\text{опт}}$, можно определить на основе теории информации [3, 4]. Зная $F_{\text{опт}}$, эффективность использования РЧС можно выразить отношением полос частот $F_{\text{опт}}$ и F_c , необходимых для организации сети на базе «оптимальных» и реальных РЭС:

$$\mu = F_{\text{опт}}/F_c$$

На рис. 1 представлена сеть радиосвязи или вещания, построенная на базе регулярных сеток. При этом решается задача покрытия определенного региона сетью примыкающих зон обслуживания. Для каждой зоны отводится один или несколько частотных каналов, причем один и тот же канал может использоваться в разных зонах на основе их надлежащего территориального разноса. Для некоторого упрощения выкладок рассматривалась сеть с зонами в виде квадратов одних и тех же размеров (см. рис. 1). Базовые станции в системах подвижной связи или вещательные передатчики расположены в центре зоны. Размер r зоны обслуживания считается заданным. В зонах, помеченных на рис. 1 одной и той же цифрой, может использоваться один и тот же частотный канал, если расстояние R между этими зонами обеспечивает необходимое ослабление помех.

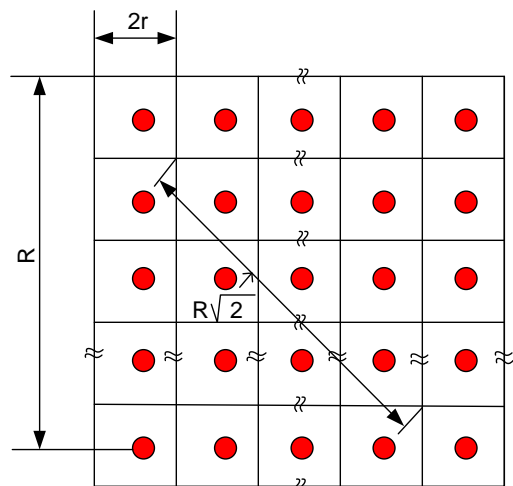


Рис. 1. Сеть радиосвязи с регулярной сеткой

Тамилин Василий Леонидович - инженер отдела информационных технологий связи и защиты информации УМВД по г. Липецку, Воронежский институт МВД России, e-mail: tamilin-vasili@rambler.ru;

Паньчев Сергей Николаевич - профессор кафедры радиотехники, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», e-mail: pany4ev@mail.ru.

В идеализированной сети на базе равных квадратов при использовании в каждой зоне M_c частотных каналов, как видно из рис. 1, общее число каналов, необходимое для покрытия сетью всего региона $N = M_c \{ \text{int}[R/(2r)] + 1 \}^2$, где $\text{int}[x]$ - целая часть числа x . Если обозначить через F_m полосу частот одного канала, то полная полоса частот, отводимая сети,

$$F_c = N F_m. \quad (1.1)$$

При анализе удобно рассматривать значения этих полос, отнесенные к полосе частот модулирующего сигнала F_0 :

$$F_m = F_m / F_0 \text{ и } F_c = F_c / F_0. \quad (1.2)$$

В соответствии с математическими моделями, широко используемыми для оценки ослабления уровня сигналов с изменением расстояния l , множитель ослабления уровня сигнала $V(l)$ изменяется как $V(l) = a/l^k$, где k в зависимости от высоты подвеса антенны и расстояния может принимать значения от 2 до 4. При этом отношение сигнал/помеха на входе приемника имеет вид:

$$\rho = \frac{\beta}{4} \left(\frac{R}{r} \right)^{k+2} \quad \beta = \frac{2}{1 + 2^{-(k+2)/2}}. \quad (1.3)$$

Из (1.2) и (1.3) следует

$$R/r = (4\rho/\beta)^{1/(k+2)} \text{ и } N = M_c \left\{ \left[(1/2)(4\rho/\beta) \right] \right\}^{1/(k+2)}.$$

Отношение ρ на входе приемника не должно быть меньше защитного p_s , т.е. величины, при которой обеспечивается необходимое отношение p_0 сигнал-шум на его выходе. Для разных видов модуляции в [5-7] получены формулы для $p_s(p_0)$. Для оптимальных РЭС в соответствии с положениями теории информации получена следующая формула для $p_s(p_0)$:

$$p_s(p_0) = (1 + p_0)^{1/F_m} - 1. \quad (1.4)$$

Выражение (1.4) справедливо для оптимальных «по Шеннону» РЭС, когда передача и прием информации осуществляются оптимальными методами. Из (1.4) видно, что при $p_0 = \text{const}$ и исполь-

зовании более широкополосных видов модуляции (большие F_m) необходимое значение p_s уменьшается. Для частотной модуляции (ЧМ) соотношение, связывающее $p(s)$, p_0 и F_m , имеет вид

$$p_s(p_0) = \chi^2 p_0 \left[3F_m (F_m - 2)^2 \right], \quad (1.5)$$

где $F_m = 2(1 + \chi m_e)$ m_e — эффективный индекс модуляции; χ - пик-фактор сообщения (обычно полагают $\chi = 3 \dots 4$).

Для амплитудной модуляции с одной боковой полосой частот (АМ-ОБП) справедливо соотношение $p_s = p_0$.

Для кодово-импульсной модуляции (ИКМ), использующей для передачи сообщений n разрядов и метод передачи с помощью класса сигналов, относящегося к М-позиционной фазовой манипуляции (М-ФМ),

$$p_s(p_0) = \left[2(n/F_m + 1) \ln 2 + p_0 \right] / \sin^2 \left(\pi 2^{-(2n/F_m)} \right), \quad (1.6)$$

где $F_m = \frac{2n}{\lg M}$ и $p_0 = 2^{2n-1} - 1$.

Для системы n -ИКМ, использующей позиционные сигналы вида 16-КАМ, формула для $p_s(p_0)$ имеет вид

$$p_s(p_0) = 10 \left\{ \ln \left[180 / \sqrt{102n180p_0} \right] + \ln p_0 \right\}.$$

С использованием приведенных формул получены зависимости $F_c(F_m)$. Они имеют вид пилообразных линий, как показано на рис. 2, для сети, использующей оптимальные РЭС при $k = 3$ и двух значениях p_0 , а также для ЧМ при одном значении p_0 . Указанные в разрывах линии квадраты целых чисел 4, 9, 16 и т.д. показывают, сколько частотных каналов N необходимо для создания сети при одном частотном канале на зону, т.е. при $M_c = 1$. Из рис. 2 видно, что увеличение F_m может быть выгодным лишь тогда, когда одновременно скачком уменьшается отношение R/r , т.е. N ; штрихом отмечены минимумы кривых $F_c(F_m)$. Хорошо видно наличие оптимальных значений F_{m0} , при которых $F_c(F_{m0})$ имеет минимум. С увеличением p_0 увеличивается как F_{m0} , так и $F_c(F_{m0})$. При этом для организации сети при всех видах модуляции, кроме АМ-ОБП, и при всех рассмотренных

значениях p_0 требуется девять частотных каналов. Число каналов для АМ-ОБП указано в табл. 1.

Таблица 1. Число каналов для АМ-ОБП

$p_0, \text{дБ}$	24	30	36	42
N_{\min}	16	25	36	49

На рис. 3 приведены зависимости значений $F_c(F_{m0})$ от p_0 для оптимальных РЭС, а также зависимости $\mu(p_0)$ для всех остальных рассматриваемых видов модуляции при тех же условиях. Для всех видов модуляции $F_{c0} = (F_{c0opt} / \mu)$. Зависи-

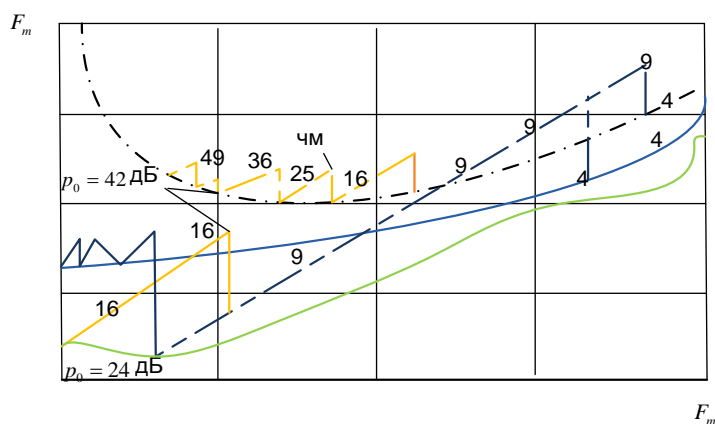


Рис. 2. Зависимости $F_c(F_m)$

Интересно также отметить, что при невысоких требованиях к качеству приема сообщений наиболее близкой к оптимальным РЭС будет АМ-ОБП. Однако ЭИРЧС АМ-ОБП заметно падает при повышении требований к качеству приема сообщений, особенно если учитывать влияние нестабильности частоты реальных передатчиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достоинство приведенного критерия состоит в том, что он позволяет определить эффективность использования РЧС сетей РЭС, в которых применяются конкретные виды и параметры модуляции по отношению к потенциальному минимуму, обеспечиваемому идеальной радиосистемой.

Понятие «идеальная радиосистема» может быть в каждом конкретном случае достаточно четко определено на основе выбранной модели идеализированной сети и использования оптимальной системы передачи и приема сообщений «по Шеннону», характеристики которой определяются выражением (1.5). Основываясь на этих показателях, можно определять допустимые отклонения характеристик приемного и передающего оборудования Воронежский институт МВД России

мости на рис. 3 иллюстрируют эффективность использования РЧС (ЭИРЧС) при всех рассматриваемых видах модуляции по отношению к оптимальным РЭС. Худшей является ЧМ, поскольку при ее использовании требуемая для организации сети полоса частот примерно в 5 раз больше, чем для оптимальных РЭС. Наиболее близкой к оптимальной для всех значений p_0 является 16-позиционная система с ИКМ, которая требует для организации сети всего лишь в 1,5 раза более широкой полосы частот, чем для оптимальных РЭС, даже в случае приема сообщений с весьма высоким качеством. Из цифровых методов передачи ИКМ-М-ФМ наилучшей для рассматриваемых условий является система с $M = 8$, а наихудшей — с $M = 4$.

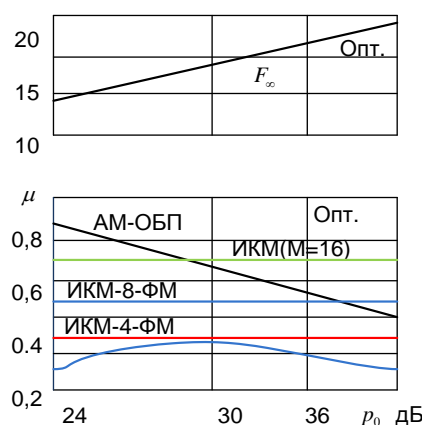


Рис. 3. Зависимости $F_{c0(p_0)}$ и $\mu(p_0)$

от идеальных, рассматривая их влияние на изменение ЭИРЧС.

Литература

1. Хэш УК Присвоение частот. Теория и приложения // ТИИЭР. 1980. Т. 68, № 12.
2. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания: Справочник / М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев. — М.: Радио и связь, 1988.
3. Рекомендации МСЭ-Р. Серия М, части 1-5. Подвижные службы и службы радиоопределения. Женева, 2002.
4. Носов В.И., Фадеева Н.Е., Минеева Т.В., Ахтырский В.Н. Новый подход к планированию сети телевизионного и звукового вещания // Электросвязь. 1989. №9. С. 18-21.
5. Doc. EX 60-10010. An Overview of the application of the Code Division Multiple Access (CDMA) to Digital Cellular Systems and Personal Cellular Networks. QUALCOMM, 2005.
6. Stefanson T. CODIT — a possible candidate for UMTS // Proc. of the Sixth Nordic Seminar of Digital Mobile Radio Communication. Stockholm, 2007. P. 90-96, 13-15.
7. Gilhausen K.S., Jacobs I.M. et al. On the Capacity of a Cellular CDMA System // IEEE Tr. Vehicular Technology. 2010. V. 40, №2. P. 303-311.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный технический университет»

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF USE OF RCHS IN NETWORKS OF A MOBILE RADIO COMMUNICATION AND BROADCASTING

V.L. Tamilin, S.N. Panychev

In article the criterion of efficiency of use of RChS of RES networks in which it is applied concrete types and modulation parameters in relation to the potential minimum provided by ideal radio system is considered.

Keywords: «ideal radio system», radio communication, modulation.