

Системы телекоммуникации, связи и защиты информации

УДК 621.396.931

А.В. Дзюра¹, С.В. Денбровецкий², д.-р. техн. наук, **Э.В. Дзюра²**¹ПрАО «МТС Украина»,

пр. Победы, 49/2, г. Киев, 03680, Украина.

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина.

Характеристики и параметры современных систем мобильной связи

Представлены основные параметры систем радиосвязи. Произведен расчет и сравнение энергетических параметров систем мобильной связи стандартов GSM и CDMA на основе двулучевой модели распространения радиоволн. Результаты представлены в виде графиков и таблиц. Библ. 7, рис. 3, табл. 2.

Ключевые слова: система мобильной связи; GSM; CDMA; двулучевая модель; расчет параметров; однолучевая модель.

Введение

Образование канала передачи информации в цифровых системах связи осуществляется на основе мультиплексирования – процесса уплотнения и передачи потоков (сигналов) от двух и более источников информации по одному каналу связи. Для разделения каналов в системах связи применяют три основных способа: множественный доступ с частотным разделением (FDMA), множественный доступ с временным разделением (TDMA) и множественный доступ с кодовым разделением (CDMA). Комбинация двух первых способов разделения каналов применяется в системе мобильной связи GSM. Способ с кодовым разделением каналов используется в системе мобильной связи CDMA (стандарт IS-95) [5].

Энергетический расчет радиоприемника связи производят по нахождению параметров, характеризующих все системы мобильной связи, а именно: напряженности электрического поля и мощности на входе приемника, максимальной дальности радиосвязи, коэффициента усиления системы [6, 2].

Для корректного проектирования систем мобильной связи, необходимо рассчитать интенсивность сигнала в зависимости от расстояния между приемником и передатчиком. Сложность расчетов состоит в том, что сигнал от передатчика к приемнику распространяется множеством различных путей, на которых он претерпевает

различного уровня затухания, ослабления и отражения.

Расчет параметров приведен для стандартов мобильной связи GSM 900 и CDMA IS-95. В основу расчетов положена двулучевая модель распространения радиоволн [2]. Результаты данной работы показывают перспективность развития сетей на основе технологии CDMA.

Описание модели

На рис. 1 изображена двулучевая схема распространения радиоволн. Передающая и приемная антенны расположены соответственно на высотах h_1 и h_2 над уровнем земли. Так как расстояние между обеими антеннами вдоль земли r на несколько порядков меньше радиуса Земли, то положим, что приемная (МС) и передающая (БС) антенны находятся горизонтально на одной прямой. Сигнал попадает в приемник двумя путями: r_1 – прямым лучом (по линии прямой видимости) и r_2 – лучом с одним отражением от земли [1, 2].

Таким образом, в точку приема мобильной станции приходят только два луча с различными амплитудами и фазами r_1 и r_2 . В этом и есть суть двулучевой модели распространения радиоволн в отличие от однолучевой модели, которая учитывает прохождение лучей только в условиях прямой видимости между приемником и передатчиком.

Ввиду малости угла падения θ , потери при отражении отсутствуют, поэтому множитель ослабления сигнала относительно напряженности электрического поля свободного пространства V представляется [7]:

$$V = \left| \frac{E_{\text{реал}}}{E_{\text{св}}} \right| = \left| \frac{E_{\text{св}} - E_{\text{св}} \cdot e^{j\Delta\Phi}}{E_{\text{св}}} \right| = \left| 1 - e^{j\Delta\Phi} \right|, \quad (1)$$

где $E_{\text{реал}}$, $E_{\text{св}}$ – напряженность поля в реальной среде и в свободном пространстве соответственно; $\Delta\Phi$ – фазовый сдвиг между прямым и отраженным от Земли лучами; j – мнимая единица.

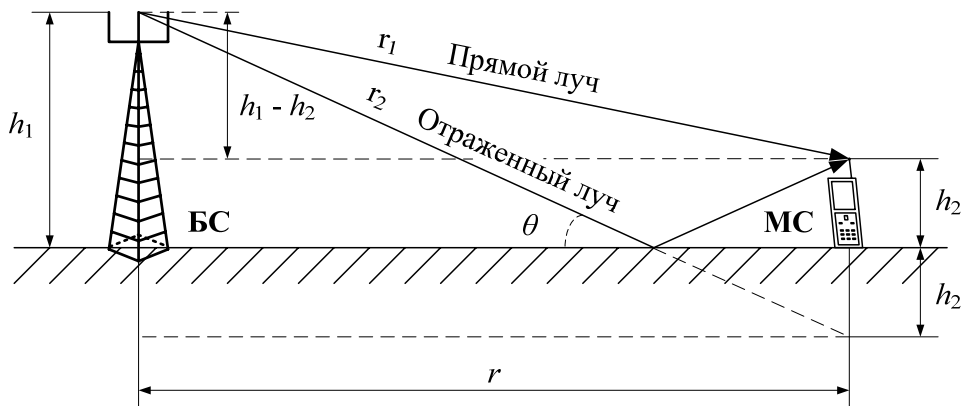


Рис. 1. Изображение двулучевой схемы распространения радиоволн

Путем математических преобразований запишем (1) в виде:

$$V = 2 \left| \sin \frac{\Delta\Phi}{2} \right|. \quad (2)$$

Фазовый сдвиг $\Delta\Phi$ определяется:

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta r, \quad (3)$$

где λ – длина волны; $\Delta r = r_2 - r_1$ – разность хода лучей [7].

На основании построений (рис. 1) можно записать:

$$r_1 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + r^2}, \quad (4)$$

$$r_2 = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + r^2}. \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в (3), а (3) в (2), получаем:

$$V = 2 \left| \sin \left[\frac{\pi}{\lambda} \left(\sqrt{(h_1 + h_2)^2 + r^2} - \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + r^2} \right) \right] \right|. \quad (6)$$

Исходные данные для расчетов [3]: $P = 30$ Вт – типичная мощность излучения антенны базовой станции; $G_1 = 70$ – типичный коэффициент усиления передающей антенны; $G_2 = 1,6$ – типичный коэффициент усиления антенны мобильной станции; $h_1 = 30$ м – высота антенны

базовой станции; $h_2 = 1,5$ м – высота антенны мобильной станции; $l_{\text{ф1}} = 10$ м – длина фидерной линии базовой станции; $l_{\text{ф2}} = 0,01$ м – длина фидерной линии мобильной станции; $\alpha_{\text{ф1}} = \alpha_{\text{ф2}} = 1,1$ дБ/м – коэффициенты затухания фидерных линий базовой и мобильной станций.

Расчет параметров

Расчет напряженности электрического поля в точке приема мобильной станцией производится в направлении максимума излучения антенны базовой передаточной станции. Исходные данные для расчета: $\lambda = 0,317$ м – средняя длина волны передачи сигнала для GSM; $\lambda = 0,341$ м – средняя длина волны передачи сигнала для CDMA. Амплитуда напряженности электрического поля $E_m(r)$ зависит от расстояния r , на котором мобильная станция принимает сигнал [2, 7]:

$$E_m(r) = (60 \cdot P \cdot G_1)^{0,5} \cdot \frac{1}{r} \cdot V. \quad (7)$$

Результаты расчетов представлены в виде графиков (рис. 2). Из анализа графиков видно, что амплитуда напряженности электрического поля обратно пропорциональна расстоянию, на котором осуществляется прием сигнала мобильной станцией.

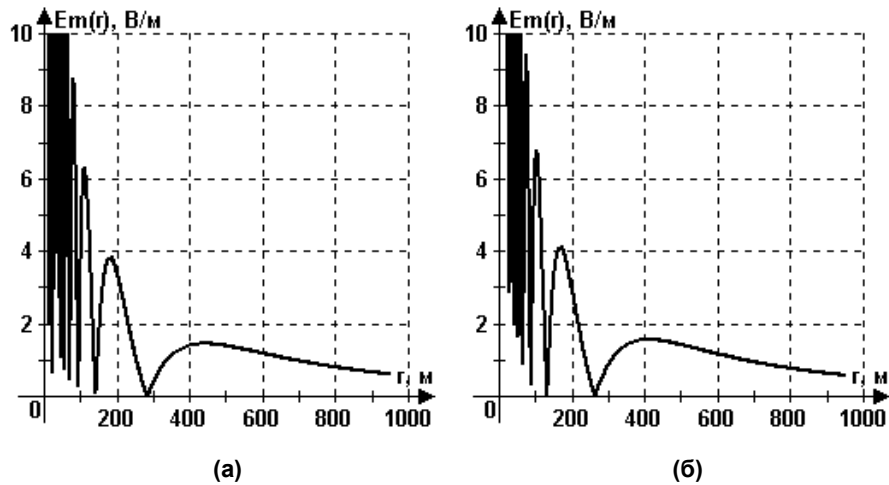


Рис. 2. Графики $E_m(r)$ для GSM (а) и CDMA (б)

При расчете мощности электромагнитного поля в точке приема в направлении максимума излучения антенны для системы GSM, примем исходные данные: $\lambda_{\min} = 0,313$ м, $\lambda_{\max} = 0,321$ м – минимальная и максимальная длина волн при передаче сигнала от базовой станции к мобильной; $r = 500$ м – расстояние между антеннами базовой и мобильной станций.

Мощность электромагнитного поля в точке приема P_r [2, 7]:

$$P_r = P \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \lambda^2 \cdot \frac{1}{(4 \cdot \pi \cdot r)^2} \cdot e^{-\alpha_{\phi 2} / \phi 2} \cdot V^2. \quad (8)$$

Тогда рассчитанные значения P_r :

$$P_r = 3,119 \cdot 10^{-5} \text{ Вт при } \lambda = 0,313 \text{ м;}$$

$$P_r = 3,345 \cdot 10^{-5} \text{ Вт при } \lambda = 0,321 \text{ м.}$$

При расчете мощности электромагнитного поля в точке приема для системы CDMA, исходные данные: $\lambda_{\min} = 0,336$ м, $\lambda_{\max} = 0,345$ м, $r = 500$ м. Рассчитанные значения P_r :

$$P_r = 3,754 \cdot 10^{-5} \text{ Вт при } \lambda = 0,336 \text{ м;}$$

$$P_r = 3,989 \cdot 10^{-5} \text{ Вт при } \lambda = 0,345 \text{ м.}$$

На рис. 3 результаты расчетов представлены графически.

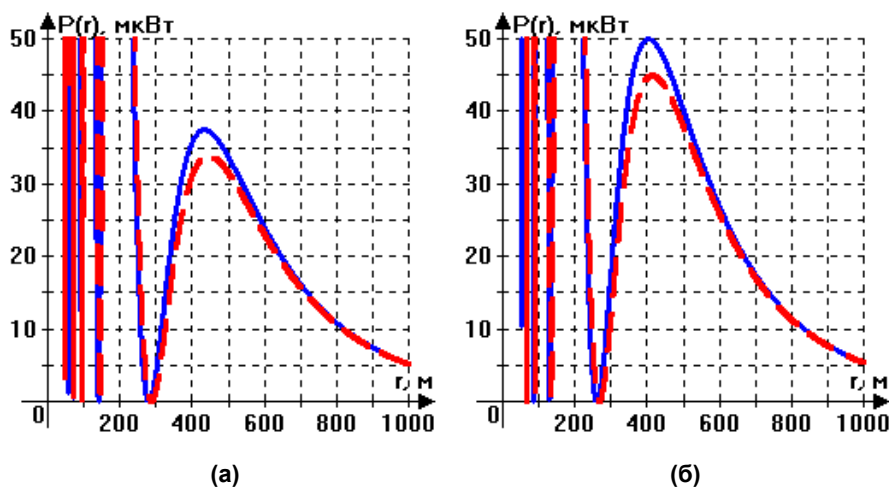


Рис. 3. Графики $P_r(r)$ для различных несущих частот GSM (а) и CDMA (б)

Мощность электромагнитного поля в точке приема у системы CDMA больше чем у системы GSM за счет разности в несущих длинах волн (у GSM она меньше).

Коэффициент усиления системы мобильной связи G_S [дБм] [2]:

$$G_S = P_{\text{ПРД}} - P_{\text{ПРМmin}}, \quad (9)$$

где $P_{\text{ПРД}}$ – мощность передатчика, $P_{\text{ПРМmin}}$ – пороговая чувствительность приемника. Для систем типа GSM и CDMA $P_{\text{ПРД}} = 44,77$ дБм (30 Вт). $P_{\text{ПРМmin}} = -106$ дБм (GSM), $P_{\text{ПРМmin}} = -120$ дБм (CDMA). Рассчитанные значения:

$G_S = 150,77$ дБм (GSM); $G_S = 164,77$ дБм (CDMA).

Коэффициент усиления системы связи показывает, во сколько раз мощность переданного сигнала больше минимальной мощности принятого сигнала.

Расчет максимальной дальности радиосвязи r_{max} (радиуса соты) можно произвести по формуле (10):

$$r_{\text{max}} = \left[\frac{P_{\text{ПРД}} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot h_1^2 \cdot h_2^2}{P_{\text{ПРМ min}}} \right]^{0,25} \times e^{-0,25 \cdot (\alpha_{\text{ф1}} / \phi_1 + \alpha_{\text{ф2}} / \phi_2)} \quad (10)$$

если принять, что фазовый сдвиг между прямым и отраженным лучами $\Delta\Phi < 0,6$ рад [2, 7]. Рассчитанные значения максимальной дальности радиосвязи: $r_{\text{max}} = 1454$ м – для GSM; $r_{\text{max}} = 3256$ м – для CDMA.

Исходя из полученных данных, расчетная дальность связи системы GSM меньше, чем у системы CDMA. Это связано с различными коэффициентами усиления систем и с различными потерями на разных диапазонах несущих частот.

Результаты расчетов приведены в итоговой таблице сравнения параметров систем мобильной связи GSM и CDMA (табл. 1).

Для сравнения в табл. 2 приведены данные расчетов с использованием однолучевой модели [4].

Выводы

Использованная в вышеприведенных расчетах двухлучевая модель распространения радиоволн дает приблизительную оценку энергетических параметров систем радиосвязи. По сравнению с однолучевой моделью, двухлучевая модель даёт более точные результаты.

Таким образом, были получены численные данные параметров: амплитуды напряженности электрического поля в точке приема, мощности в точке приема, коэффициента усиления систем, максимальной дальности радиосвязи для систем связи стандартов GSM и CDMA.

Как показывает проведенный анализ, по выбранным параметрам система CDMA обеспечивает лучшие характеристики, чем система GSM.

Таблица 1. Сравнение параметров систем мобильной связи GSM и CDMA

Параметр	Система мобильной связи	
	GSM	CDMA
$E_m(r = 100\text{м}), [\text{В/м}]$	3,44	6,43
$E_m(r = 1000\text{м}), [\text{В/м}]$	0,553	0,523
$E_m(r = 5000\text{м}), [\text{В/м}]$	0,025	0,023
$P_r \text{ min}, [\text{Вт}]$	$3,119 \cdot 10^{-5}$	$3,754 \cdot 10^{-5}$
$P_r \text{ max}, [\text{Вт}]$	$3,345 \cdot 10^{-5}$	$3,989 \cdot 10^{-5}$
$G_S, [\text{дБм}]$	150,77	164,77
$r_{\text{max}}, [\text{М}]$	1454	3256

Таблица 2. Расчеты с использованием однолучевой модели

Параметр	Система мобильной связи	
	GSM	CDMA
$E_m(r = 100\text{м}), [\text{В/м}]$	3,55	6,55
$E_m(r = 1000\text{м}), [\text{В/м}]$	0,355	0,355
$E_m(r = 5000\text{м}), [\text{В/м}]$	0,071	0,071
$P_r \text{ min}, [\text{Вт}]$	$8,25 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$
$P_r \text{ max}, [\text{Вт}]$	$8,67 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}
$G_S, [\text{дБм}]$	150,77	164,77
$r_{\text{max}}, [\text{М}]$	1186	6374

Список использованных источников

1. *Весоловский Кишиштоф*. Системы подвижной радиосвязи/Пер. с польск. И.Д. Рудинского; под. ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
2. *В.И. Попов*. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 296 с.
3. *Дзюра А.В.* Мультистандартна мережа оператора стільникового зв'язку для району міста: Дипломна робота. – Київ, 2014.
4. *Дзюра Э.В., Денбровецкий С.В.* Сравнение параметров систем мобильной связи типа GSM и CDMA // Материалы VIII научно-практ. конф. «Перспективные направления современной электроники». Киев, НТУУ «КПИ», ФЭЛ, 14-15 мая 2014. – С. 38-41.
5. *Ратынский М.В.* Основы сотовой связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.
6. Системы и сети цифровой радиосвязи: учеб. пособие / Н. И. Листопад [и др.]. – Минск: «Изд-во Гревцова», 2009. – 200 с.:

7. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: Учебн. пособие. – Изд. 2-е, испр. и дополн. – Одесса: УГАС, 2000. – 119 с.
8. Найда С.А. Пьезоприемники теплового акустического излучения для зондирования внутренней температуры объектов //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. -2003, №1. - С. 25-29.
9. Смаришев М.Д. Направленность гидроакустических антенн. - Л.: Судостроение. - 1973. -278 с.
10. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтутов, А.Е. Колесников, А.П. Ляликов и др. -Л.: Судостроение. -1982. -344 с.

Поступила в редакцию 12 мая 2015 г.

УДК 621.396.931

А.В. Дзюра¹, С.В. Денбновецкий², д.-р. техн.наук, **Е.В. Дзюра²**

¹ПрАТ «МТС Україна»,

пр. Перемоги, 49/2, м. Київ, 03680, Україна.

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

Характеристики і параметри сучасних систем мобільного зв'язку

Представлені основні параметри систем радіозв'язку. Зроблено розрахунок і порівняння параметрів систем мобільного зв'язку GSM та CDMA на основі двопробеневої моделі розповсюдження радіохвиль. Бібл. 7, рис. 3, табл. 2.

Ключові слова: система мобільного зв'язку; GSM; CDMA; двопробенева модель; розрахунок параметрів; однопробенева модель.

UDC 621.396.931

A. Dzyura¹, S. Denbnovetskyi², Dr.Sc., **E. Dzyura²**

¹PrJSC "MTS Ukraine",

Peremogy Ave., 49/2, Kyiv, 03680, Ukraine.

²National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,
Politekhnichna St., 16, corp. 12, Kyiv, 03056, Ukraine.

The characteristics and parameters of modern mobile communication systems

The basic parameters of radio communication systems were presented. Calculation and comparison of the parameters of GSM- and CDMA-based mobile communication systems was made on the basis of the two-beam radio-wave propagation model. The results are presented in a graphs and tables. Reference 7, figures 3, tables 2.

Keywords: mobile communication system; GSM; CDMA; two-beam model, calculation of the parameters, one-beam model.

References

1. Vesolovskyi, K. (2006). Mobile radio systems. Trans. from Polish by I.D. Rudinskyi; edited by A.I. Ledovskyi. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom. P. 536. (Rus.)
2. Popov, V. I. (2005). Fundamentals of GSM cellular communication. Moscow: Eko-Trendz. P. 296. (Rus.)
3. Dzyura, A. V. (2014). Multistandard mobile operator's network for a district of the city. Diploma work. Kyiv. (Ukr.)
4. Dzyura, E. V., & Denbnovetskyi, S. V. (2014, May 14-15). Comparison of parameters of mobile communication systems such as GSM and CDMA. Materials of VIII scientific and practical conference

-
- «Perspective directions of modern electronics». Kyiv: NTUU «KPI», Faculty of Electronics. P. 38-41. (Rus.)
5. *Ratynskiy, M. V.* (2000). Fundamentals of cellular communication. Moscow: Radio i sviaz. P. 248. (Rus.)
 6. *Listopad, N. I.* (2009). Systems and networks of digital radio communication. Study guide. Minsk: Grevtsova Publishing. P. 200. (Rus.)
 7. *Sukachev, E. A.* (2000). Cellular radio networks with mobile objects. Study guide (2-nd ed.) revised and supplemented. Odesa: UGAS. P. 119. (Rus.)