

УДК 621.391.812.3

О.Н. Пищин

АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТУХАНИЯ РАДИОСИГНАЛА СИСТЕМ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НАД ВОДНОЙ ГЛАДЬЮ

Получен погонный коэффициент затухания радиосигналов в УВЧ диапазоне для сотовых систем связи над водной гладью. Эксперименты проводились на дальностях распространения сигнала до 1000 метров. Результаты работы позволят с минимальными погрешностями планировать совершенствование современных и развитие перспективных систем сотовой связи, охватывающих акватории морей, территории водохранилищ, озёр и речные подвижные пути.

Системы сотовой связи; потери передач; затухание радиосигнала над водой.

O.N. Pishchin

THE ANALYSIS AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ATTENUATION OF A RADIO SIGNAL OF SYSTEMS OF A CELLULAR MOBILE RADIO COMMUNICATION ABOVE A WATER SMOOTH SURFACE

The factor of attenuation of a radio signal in a range of cellular communication systems above a water smooth surface is experimentally received. Experimental tests were spent on distance up to 1000 meters. Results of work allow improving and developing the modern and perspective systems of cellular communication working near to water area of the seas, in territory of water basins, lakes and in territory of river ways. Errors in calculations thus will be considerably lowered.

Systems of cellular communication; Losses of capacity of a broadcast; attenuation of a radio signal above water.

Введение

Основным принципом развития систем беспроводного доступа является фразеологизм: «Anywhere, Anytime» (связь всегда и везде), обозначенный Всемирной системой мобильной связи (International Mobile Telecommunications (ИМТ)), который означает доступность услуг связи в любой точке поверхности Земли и в любое время [1].

Современный этап энергичного развития систем связи беспроводного доступа, а также строительство систем связи 3-го поколения в настоящее время временно замедлен. Сотовые операторы в связи с текущим экономическим кризисом снизили свои расходы на развёртывание и расширение сетей и занялись их более глубокой оптимизацией и рационализацией. Большое внимание стало уделяться инновационной и рационализаторской деятельности компаний для дальнейшего расширения зон радиопокрытия и повышения качества обслуживания за счёт оптимизации существующих сетей сотовой связи. В ре-

зультате значительно возрастает потребность в точном прогнозе ослабления сигнала при прямой видимости [3].

Согласно [4] в основные направления работ при проектировании новых систем связи для внутреннего водного транспорта включена задача совмещения систем связи используемых на водном транспорте с системами связи общего пользования.

В целях оптимизации систем связи общего пользования на участках сети, имеющих целью обеспечение доступным уровнем связи таких территорий, как акватории морей, водохранилищ, озёр, рек и населённых пунктов, разделённых водными преградами, необходимо уточнение механизма расчёта затухания радиоволн в действующем и планируемом для использования диапазоне частот стандартов GSM/DCS/PCS/CDMA. Необходимость повышения точности расчётов вызвана не адекватным отображением расчётных зон распределения мощности радиосигнала реальным. Это происходит за счёт отсутствия учёта значительных отличий в затухании радиосигнала над поверхностями суши и водной глади в диапазоне УВЧ (ультравысокие частоты – от 300 МГц до 3 ГГц).

Основная часть

Известно, что распространение радиоволн в надводной части отличается от распространения радиоволн над сушей ввиду различий в ионизации воздуха. Наибольшие флуктуации сигнала отмечаются при распространении радиоволн в городе, наименьшие – в штиль над морской поверхностью.

Неровности земной поверхности также принимают участие в формировании диаграмм излучений приемопередающих станций. По условиям отражения радиоволн участки трассы могут быть гладкие, зеркальные, например поверхность водоема, или шероховатые – пересеченная местность. Зеркальные участки создают условия направленного отражения радиоволн, шероховатые – рассеянного [2].

Модели, рекомендованные Международным союзом электросвязи (МСЭ) для расчёта затухания радиосигналов сотовой связи недостаточно точны и не позволяют получить достоверный прогноз потерь [3].

Так, согласно Рекомендациям ИТУ-R P.1546 [5], в методах расчёта статистических характеристик сигналов в службах вещания и подвижной связи статистические распределения напряжённости поля по местоположению и во времени аппроксимируются логарифмически нормальным законом, параметрами которого являются медиана и стандартное отклонение.

Так называемые кривые распространения представляют следующую функциональную зависимость медианы напряжённости поля:

$$E_0 = F(R, f_{OP}, h_1, t),$$

где R – расстояние между передатчиком и приёмником, км; f_{OP} – опорная частота (100, 600, 2000 МГц); h_1 – высота подвеса передающей антенны, м; t – процент времени, в течение которого напряжённость поля превышает прогнозируемый уровень (50%, 10%, 1%). Кривые соответствуют некоторой но-

минальной высоте приёмной антенны, изменяющейся в зависимости от подстилающей поверхности, и длине трассы свыше 1 км [5, 12].

Значения напряжённости поля, полученные по кривым, в сочетании с различного рода коррекциями и поправками не должны превышать максимально возможного значения напряжённости поля E_{\max} [6]. Данное значение для наземных трасс ограничено величиной напряжённости поля при распространении волны в свободном пространстве, дБ:

$$E_{\max} = E_F = 76,9 + P_t - 20 \cdot \lg(R), \quad (1)$$

где E_F – напряжённость поля при распространении сигнала в свободном пространстве, P_t – мощность на выходе передатчика дБВт. Для морских трасс, дБ:

$$E_{\max} = E_F + 2,38 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{R}{8,94}\right) \right] \cdot \lg\left(\frac{50}{t}\right). \quad (2)$$

В случае необходимости пересчёт полученной величины напряжённости поля, дБ, в потери распространения осуществляется согласно выражению [6]:

$$L = 139 - E + 20 \cdot \lg f. \quad (3)$$

Проведённые расчёты по формулам 1, 2 и 3 на дистанциях до 1000 м, показали незначительные различия (до 2дБ) в уровнях затухания в свободном пространстве и над водной гладью, что на практике не подтверждается. Это происходит ввиду того, что приведённые в Рекомендациях ИТУ-R P.1546[5] приводятся кривые для наземных трасс и кривые описывающие напряжённость поля на трассах, проходящих над тёплыми и холодными морями, принятые для прогнозирования напряжённости поля в полосе частот от 30 до 3000 МГц и расстояния от 1 до 1000 км. Они описывают уровни напряжённости, создаваемые полуволновым диполем мощностью в 1 кВт, как функции от различных параметров. Высота излучающей антенны варьируется в пределах 10-1200 м относительно подстилающей поверхности.

Таким образом, Рекомендации ИТУ-R P.1546 не распространяются на расчёты затухания радиосигнала на дистанциях до 1000 м. Эти дистанции являются наиболее актуальными для процесса оптимизации современных и развития перспективных сетей сотовой подвижной радиосвязи.

Более того, различия в затухании радиосигнала УВЧ диапазона, связанные в данном случае с водными преградами не используются в классических моделях расчёта при радиопланировании подвижной сотовой радиосвязи ввиду того, что данные системы проектируются в первую очередь как сухопутные подвижные системы радиосвязи.

С целью повышения точности радиопланирования, соблюдения электромагнитной совместимости и гарантии отсутствия непреднамеренных помех как внесистемных, так и внутрисистемных при проектировании систем связи широкополосного доступа, необходим учёт различия в затухании сигналов сотовой связи над сушей и водной гладью.

На открытых интервалах линий передачи, возможно, рассчитать множитель ослабления для радиолинии. Он имеет интерференционный характер, так

как в точку приема кроме прямой волны могут приходиться одна или несколько волн, отраженных от земной поверхности. Интерференционный множитель ослабления V рассчитывается по формуле [7]:

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2 \cdot \Phi \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda \cdot r} + \theta\right)}, \quad (4)$$

где Φ – модуль коэффициента отражения, h_1 – высота подъема передающей антенны, м, h_2 – высота подъема приемной антенны, м, r – расстояние между точками приема и передачи, м, θ – фаза коэффициента отражения, град., λ – длина волны в м.

Для расчета интерференционного множителя ослабления необходимо определить модуль коэффициента отражения Φ и его фазу θ . Для определения коэффициента отражения и его фазы необходимы следующие данные:

- ◆ диэлектрическая проницаемость ϵ подстилающей поверхности;
- ◆ угол скольжения Δ , определяемый графическим путем и зависящий от расстояния между антеннами и от высоты подъема антенн над уровнем водной глади.

Модуль коэффициента отражения и его фаза определяются по номограммам «Кривые модулей коэффициентов отражения» и «Кривые аргументов коэффициентов отражения», приведенным в [7].

При распространении радиоволн на большие расстояния значение фазы коэффициента отражения стремится к 180° ($\theta \rightarrow 180^\circ$) [8] и из-за сложности вычисления коэффициентов отражения к расчету принимают их усредненные значения, выбираемые из таблицы «Усредненные значения коэффициентов отражения» [9] (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные значения коэффициентов отражения

№ п/п	Вид поверхности	Φ при длинах волн, см			
		18-15	8-7	5	3-1,5
1	Водная поверхность	0,99 - 0,95	0,95 - 0,85	0,85 - 0,63	0,45 - 0,2
2	Равнина, пойменные луга, солончаки	0,99 - 0,95	0,8 - 0,6	-	-
3	Ровная лесистая местность	0,8 - 0,6	0,6 - 0,5	0,5 - 0,3	0,3 - 0,1
4	Среднепересечённая лесистая местность	0,5 - 0,3	0,3 - 0,2	-	-

Сравнение расчётов по формуле 4 множителей ослабления V над водной поверхностью и над сушей также не дают адекватной оценки в разнице уровней затухания, это происходит ввиду того, что интерференционный множитель ослабления учитывает рассеянное распространение радиоволн, что характерно для шероховатых поверхностей (суша). Условия направленного отражения радиоволн, создаваемые зеркальными поверхностями (поверхности водоёмов, солончаки) он не учитывает.

Проведённые экспериментальные исследования распространения радиоволн сотовой связи над водной гладью показали, что их затухание над водо-

ёмами, разделяющими населённые пункты на части, значительно отличаются от затухания в свободном пространстве и, тем более, над городской частью города (таблица 2).

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований затухания радиосигнала в УВЧ диапазоне над водной гладью

	Математическое ожидание $\overline{M_x}$ уровней затухания сигнала L_0 , дБм с учётом быстрых замираний	
	Длина волны λ , м	0,32
Уровень затухания в исходной точке	40,3	56,9
Уровень затухания на границе водной глади (R=800 м)	45,8	62,4
Уровень затухания над сушей (R=800 м)	65,6	82,3

Экспериментально полученные данные аппроксимируются зависимостью:

$$L_{AW} = 32,45 + 5 \cdot \lg(f) + 5 \cdot \lg(r), \quad (5)$$

где L_{AW} – (above water – над водой) потери передачи в УВЧ диапазоне над водной гладью, дБ, f – рабочая частота, МГц, r – дистанция от передатчика базовой станции до приёмника абонентской радиостанции, км.

Расчёт потерь передачи в УВЧ диапазоне для сотовой подвижной радиосвязи в свободном пространстве имеют вид [10]:

$$L_{FS} = 32,45 + 20 \cdot \lg(f) + 20 \cdot \lg(r). \quad (6)$$

Сравнение кривых потерь передачи в свободном пространстве (free space – свободное пространство) и над водной гладью (по формулам (5) и (6)) представлено и на рисунке.

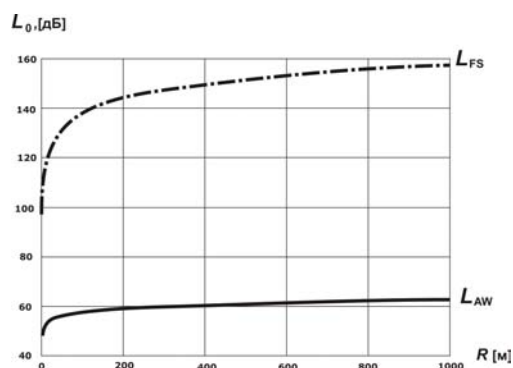


Рис. 1. Потери передачи радиосигналов в диапазоне УВЧ для свободного пространства L_{FS} и над водной гладью L_{AW}

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ для морской и пресной воды в соответствии с выпиской из таблицы электрических параметров земной поверхности [11] (табл. 3) для волн УВЧ диапазона для обеих сред идентична.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученный в результате проведённых экспериментов погонный коэффициент затухания над водной гладью для волн УВЧ диапазона одинаков как для водоёмов с пресной, так и для водоёмов с солёной водой:

$$a_{т_водная_гладь} \approx 0,006875 \text{ дБ/м}$$

Таблица 3

Электрические параметры земной поверхности

№ п/п	Вид поверхности	Длина волны λ , м	Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_z	Удельная электропроводимость γ_z , Сим/м
1	Морская вода	>1	75	1-6
		0,1	70	1-6
		0,03	65	10-20
		0,003	10	10-20
2	Пресная вода	>1	80	$10^{-2} - 3 \times 10^{-2}$
		0,1	75	1-2
		0,03	65	10-20
		0,003	10	-

При проведении экспериментов соблюдались условия прямой видимости между антенной абонентской радиостанции (АР) и базовой станции (БС). Высота размещения антенны БС соответствовала 35 м, а антенны АР 1,5 м. Протяжённость радиотрассы экспериментальных исследований до 1000 м.

Заключение

Использование погонного коэффициента затухания радиосигналов над водной гладью в УВЧ диапазоне позволит повысить точность механизма оптимизации действующих сетей и планирования строительства перспективных сетей сотовой связи. Наиболее эффективный расчёт потерь передачи будет получен пошаговым расчётом потерь передачи с различными условиями распространения радиоволн при использовании автоматизированных программ радиопланирования, таких как ONEPLAN RPLS, RPS-2, RADIUS с применением цифровых карт.

Полученные в работе результаты позволят с минимальными погрешностями планировать совершенствование современных и развитие перспективных систем связи общего пользования, охватывающих акватории морей, территории водохранилищ, озёр и речные подвижные пути.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Невдяев Л.М.* Мобильная связь 3-го поколения / Под ред. Ю. М. Горностаева. – М.: Связь и бизнес, 2000. – 208 с.
2. *Паслен В.В., Ямилов В.К.* Трасса радиосвязи и её влияние на устойчивость радиосвязи. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 8 с.

3. *Василенко Г.* Оценка ослабления сигналов сетей подвижной связи на коротких трассах прямой видимости // *Электроника: Наука, Техника, Бизнес.* – 2008. – №4. – С. 72-74.
4. Концепция развития комплексной системы электросвязи внутреннего водного транспорта Российской Федерации (утв. Минтранс РФ 28.10.2003г.) [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <http://www.pravoteka.ru/pst/51/25326.html> (дата обращения 13.05.2009).
5. ITU-R Recommendations. 2001. – P. 1546.
6. Методы расчёта поля в системах связи дециметрового диапазона / Е.Р. Милютин, Г.О. Василенко, М.А. Сиверс, А.Н. Волков, Н.В. Певцов. – СПб: Триада, 2003. – 159 с.
7. *Чёрный Ф.Б.* Распространение радиоволн. – М.: Советское радио, 1972. – 464 с.
8. *Чернышов В.П., Шейман Д.И.* Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: Учеб. – М.: Радио и связь, 1989. – 238 с.
9. Справочник по радиорелейной связи / Каменский Н.Н., Модель А.М., Надеенко Б.С. и др.; – 2-е изд. перераб. и доп. под редакцией С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
10. Электромагнитная совместимость сотовых сетей связи [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <http://www.radioland.net.ua/contentid-444-page10.html> (дата обращения 13.05.2009).
11. Родос Л. Я. Электродинамика и распространение радиоволн (распространение радиоволн): учеб.-метод. комплекс (Учебное пособие). – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 90 с.
12. Милютин Е. Модели расчёта потерь мощности сигнала в сотовых системах связи // *Мобильные телекоммуникации.* – 2008. – №4. – С. 24-26.

Пищин Олег Николаевич

Астраханский Государственный Технический Университет.

E-mail: pishin@astragsm.ru.

414000, г. Астрахань, ул. Лычманова, 44.

Тел.: 8(8512)700-087; 8(8512)734-970, 703-355, Fax: 8(8512)700-090.

Кафедра «Связь».

Старший преподаватель.

Pishchin Oleg Nikolayevich

The Astrakhan state technical university.

E-mail: pishin@astragsm.ru.

44, Lychmanova street, Astrakhan, 414000, Russia.

Phone: 8(8512)700-087; 8(8512)734-970, 703-355, Fax: 8(8512)700-090.

Faculty "Communication".

The senior teacher of faculty "Communication".