

УДК 621.396

А.А. Хромых, А.П. Преображенский

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ПОДЗЕМНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж

В данной статье рассматриваются основные характеристики, связанные с распространением электромагнитных волн в подземных системах связи.

Ключевые слова: распространение радиоволн, подземные антенны.

Беспроводные подземные сети связи в настоящее время являются одними из перспективных направлений. Устройства передачи и приема в таких системах или полностью находятся под покровом почвы или располагаются в каком-то ограниченном пространстве под землей, как это может быть для случая подземных шахт или метро.

В случае, когда устройства находятся под почвой, необходимо учитывать особенности распространения в ней радиоволн. Для второго случая, несмотря на то, что устройства передачи и собственно радиосеть находятся под землей, но есть полости или пустоты [1-4].

Целью данной работы является анализ основных характеристик распространения электромагнитных волн в подземных системах связи.

Основное различие между подземными беспроводными и наземными беспроводными сетями связи заключается в средствах коммуникации. Конечно, методы, нацеленные на оценку параметров распространения сигнала через воздух, будут в основном также применимы и для распространения через почву, хотя при этом необходимо, чтобы были разработаны подходы по оценке характеристик этого канала связи [5-7].

Помимо способов, основанных на распространении электромагнитных волн в почве, для ближней связи могут использоваться методы, опирающиеся на явление электромагнитной индукции.

Одной из отличительных особенностей распространения сигнала является то, что он распространяется с потерями, обусловленными отражением от стен и потолков в шахтах и тоннелях метро.

Если рассматривать возможности построения аналитической модели распространения электромагнитных волн в тоннелях, то может использоваться многомодовый подход. При этом удастся рассмотреть закономерности распространения электромагнитных волн как в ближней, так и дальней зонах.

Понятно, что при построении беспроводной связи, когда через почву распространяются электромагнитные волны, мы сталкиваемся с

трудностями, связанными с тем, что затухание в почве гораздо больше по сравнению с воздухом. Это сильно снижает возможности передачи информации. Кроме того, поверхность земли дает отражения, а также преломления, которые определяют необходимость комплексного исследования модели канала [8-12].

В некоторых случаях при исследованиях достаточно использования двухлучевой модели. Она отражает основные закономерности распространения электромагнитных волн. Но эта модель может быть уточнена с учетом того, что почва, как правило, неоднородная, в ней могут быть камни, корни растений и деревьев и т.д. В результате наблюдается, так называемое, многолучевое замирание. Многолучевой подход в ряде случаев позволяет построить достаточно точную модель распространения радиоволн [13-16].

В условиях подземной связи вероятностные эффекты в оборудовании связаны с расположением узлов, а не со временем, которое определяет распределение по закону Релея. Каждый путь в подземном канале, по которому распространяется сигнал, моделируется как независимая случайная величина, с распределением по закону Релея.

В случае подземной радиолокации нельзя говорить о временном разрешении объектов, так как происходит затухание отраженных от подземных объектов сигналов ранее, чем происходит окончание зондирующего импульса.

Исследователями было показано, что коэффициент ошибок равный отношению числа неверно принятых битов к общему числу переданных битов определяется в основном тремя составляющими: 1) моделью канала; 2) отношением сигнал/шум, и 3) типом модуляции, которая применяется в данном канале связи.

Важно понимать, что для эффективной передачи и приема сигналов на определенных частотах, для антенн может потребоваться слишком большой размеры, чтобы их было возможно разместить в почве.

В таком случае существует альтернатива в возможности распространения распространении сигнала на основе эффекта магнитной индукции. Для плотных сред, таких, как почва и вода получается небольшое изменение коэффициента ослабления магнитного полей по сравнению с воздухом, так как магнитные проницаемости каждый из этих материалов подобны.

Подземный вид связи при весьма заметно заглубленных антеннах обладает таким преимуществом, что на него не воздействуют внешние помехи. В этой связи, сигнал ослабляется под землей, но при этом отношение сигнал/шум для линий, которые проходят глубоко под землей, получается больше, чем для линий, которые находятся близи поверхности земли. Отметим также, что при работе на низких частотах системы связи,

работающие под землей, получаются более эффективными чем для наземных систем.

Когда создаются системы связи между подземными или подводными объектами, то при этом можно применять эффекты частичного распространения электромагнитных волн вдоль поверхности Земли или моря. Происходит это таким образом, что волна вертикально поляризована и она при возбуждении подземной антенной, передающей информацию, идет к поверхности до поверхности Земли, далее происходит преломление на границе между Землей и атмосферой, потом эта волна распространяется вдоль земной поверхности. В итоге, происходит прием подземной приёмной антенной.

К настоящему времени разработана пассивная магнитно-резонансная локация недр (ПМРЛН). Она представляет собой способ подземных исследований, опирающийся на нейротехнический метод, предназначенный для бесконтактного исследования электромагнитных полей в Земле. При этом происходит выделение полезного сигнала из электромагнитного шума, что основывается на явлении стохастического резонанса.

Основные два тезиса, относящиеся к этой технологии , такие:

1. Существуют определенные аномалии для подземных неоднородностей, для которых существуют определенные частоты радиоволн.

2. Частоты могут быть определены (измерены) на основе явления стохастического резонанса.

Вывод. При построении методов и алгоритмов оценки характеристик распространения электромагнитных волн в подземных условиях необходимо, в первую очередь, опираться на вероятностные подходы. В ряде случаев, для конкретных конфигураций весьма эффективными являются детерминированные лучевые методы.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.О.Головинов, С.Г.Миронченко, Е.В.Щепилов, А.П.Преображенский Цифровая обработка сигналов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 4. С. 64-65.
2. Akyildiz I.F., Stuntebeck E.P. Wireless underground sensor networks: Research challenges / Ad Hoc Networks Journal 4 (2006), pp.669_686.
3. Горелик Г.С. Колебания и волны. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 572 с.
4. Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
5. <http://kunegin.com/ref/radio/index1.htm>

6. <http://pmrse.com/pmrln.htm>
7. Dudley D. G., Lienard M., Mahmoud S. F. and Degauque P. Wireless propagation in tunnels / *IEEE Antenna Propag. Mag.*, vol. 49, no. 2, pp. 11-26, Apr. 2007.
8. С.С.Куликов, А.В.Петровский, В.И.Белоножкин Разработка риск-модели на основе спектрального анализа: сигнал риска и его характеристики / *Информация и безопасность*, 2012, № 1, с.117-120.
9. Н.М.Тихомиров, Н.С. Коленбет, Н.Н.Толстых Экспертная методика оценки возможности реализации угрозы в фемтосотовых сетей стандарта LTE / *Информация и безопасность*, 2012, № 1, с.125-128.
10. С.С.Куликов, А.В.Петровский, Н.Н.Толстых Разработка риск-модели на основе спектрального анализа: выделение случайной компоненты / *Информация и безопасность*, 2012, № 1, с.129-130.
11. А.П.Преображенский Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, Научная книга, 2007, 248 с.
12. И.Я.Львович, А.П.Преображенский, С.О. Головинов, Р.П.Юров Математическое и программное обеспечение САПР дифракционных структур и антенн / Воронеж, Научная книга, 2008, 96 с.
13. С.О.Головинов, А.П.Преображенский, И.Я.Львович Моделирование распространения миллиметровых волн в городской застройке на основе комбинированного алгоритма / *Телекоммуникации*, 2010, № 7, С. 20-23.
14. Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов Исследование метода трассировки лучей для проектирования беспроводных систем связи / *Электромагнитные волны и электронные системы*, 2012, Т. 17, № 1, С. 32-35.
15. Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / *Теория и техника радиосвязи*, 2011, № 1, С. 5-9.
16. Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / *Телекоммуникации*, 2010, № 11, С. 2-6.

A.A. Khromyh, A.P.Preobrazhensky
**PROPAGATION CHARACTERISTICS OF THE GROUND
WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS**

Voronezh Institute Of High Technologies , Voronezh

This paper discusses the main characteristics associated with the propagation of electromagnetic waves in the underground communications systems.

Keywords: propagation of radio waves, ground antenna.