

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЗОНЫ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОСИГНАЛА

*А.Г. Шубович, Т.Б. Бекболотов*

Приведен пример моделирования потерь при распространении радиоволн на основе формулы Okumura–Hata с использованием программы LabVIEW.

*Ключевые слова:* модель Okumura–Hata; LabVIEW; потери; радиоволны; сотовые системы; местность.

Моделирование потерь при распространении радиоволн – важный инструмент при разработке сотовых систем для определения ее ключевых параметров: мощности передачи, частоты, высоты антенны, и др. Имеются модели для сотовых систем, работающих в различной среде (внутренней, наружной, городской, пригородной, сельской). Некоторые из этих моделей были получены статистическим методом на основе опытных испытаний, другие были разработаны аналитическим путём на основе эффектов преломления. В каждой модели используются свои специфические параметры для получения точности предсказаний. В моделях предсказания на больших расстояниях, предназначенных для макросотовых систем, используется высота антенны базовой станции, мобильной станции и частота. В моделях предсказания на коротких расстояниях для оценки потерь при распространении используется высота зданий, ширина и направление улиц и т.д. Эти модели используются в микросотовых системах. Когда размер соты достаточно маленький (в диапазоне от 10 до 100 м), используются детерминистические модели, основанные на методах трассировки лучей. Поэтому для разработки мобильной системы в заданной окружающей среде так важно выбрать правильную модель потерь [1–5].

Для определения распределения трафика часть нагрузки снимается со старых сот и переносится на новые в ходе разработки программы распределения пропускной способности. Модель распространения

помогает определить место размещения сот для оптимальной работы сети. Если модель распространения не помогает эффективному расположению сот в сети, высока вероятность неправильного их размещения.

Для предсказания помех часто используется модель Okumura–Hata.

В 1968 г. У. Okumura была предложена эмпирическая модель распространения радиоволн, основанная на результатах измерений, проведенных в нескольких районах г. Токио. Первоначально модель представляла собой набор кривых распространения для различных частот излучения и типов местности. В 1980 г. М. Hata, исследуя модель Okumura, аппроксимировал кривые распространения математическим выражением. Это выражение теперь известно как модель Okumura–Hata. Он отбирал условия распространения данных, получив кривые средних потерь при передаче в плоской городской окружающей среде. Затем он применил некоторые коррекционные факторы для других условий распространения, таких, как:

- высота антенны и несущая частота;
- пригородное, открытое пространство, или горные районы;
- потери из-за преломления в горах;
- морские или озерные районы;
- уклон дороги.

Модель Okumura–Hata широко использовалась в сотовых системах и в Европе, и в Северной Америке. Модель COST 231 рекомендована Европейским институтом стандартов связи (ETSI) для использования персональных системах связи/комплектов персональной связи (PCN/PCS).

Ниже приведен пример использования модели Okumura–Hata для расчета потерь радиоволн в различных условиях: городской застройке, сельской, пригородной и открытой местности.

$$L = \begin{cases} A + B \lg R & \text{для городской застройки;} \\ A + B \lg R - C & \text{для сельской и пригородной застройки;} \\ A + B \lg R - D & \text{для открытой местности,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $R$  – расстояние между антенной базовой станции и антенной абонентской станции, км.

$$A = 69,55 + 26,16 \lg f_0 - 13,82 \lg h_{BC} - a(h_{BC});$$

$$B = 44,9 - 6,55 \lg h_{BC};$$

$$C = 2 \left[ \lg \frac{f_0}{28} \right]^2 + 5,4; \quad (2)$$

$$D = 4,78 (\lg f_0)^2 - 19,33 \lg f_0 + 40,94;$$

$$a = \begin{cases} 1,11 \lg f_0 - 0,7 h_{AC}^2 - 1,56 \lg f_0 - 0,8 & \text{для малых и средних городов;} \\ 8,28 (\lg(1,54 h_{AC})) - 1,1 & \text{для крупных городов } (f_0 < 0,44 \text{ ГГц}); \\ 3,2 (l \lg(11,75 h_{AC}))^2 - 4,97 & \text{для крупных городов } (f_0 < 0,4 \text{ ГГц}), \end{cases} \quad (3)$$

где  $h_{BC}$  и  $h_{AC}$  – высота установки антенн базовой и абонентской станций;  $f_0$  – значение приемопередающей частоты. Коэффициенты  $a, A, B, C, D$  взяты из выражений (2, 3).

Выражения (1) могут применяться при выполнении условий:

$$150 \text{ МГц} < f_0 \leq 3 \text{ ГГц},$$

$$h_{AC} \leq 25 \text{ м},$$

$$R < 20 \text{ км},$$

$$30 \leq h_{BC} \leq 200 \text{ м}.$$

Для расчета могут применяться и другие методики. Суть этой модели заключается в аппроксимации графиков Okumura специально подобранными формулами для различных территориальных зон. Недостатки у этой модели такие же, как и у исходной модели Okumura, и также приводят к недооценке потерь для частот свыше 1,5 ГГц. Модель позволяет сделать расчет потерь не только для крупных городов, но и для горной или открытой местности.

Для компьютерного моделирования была использована среда графического программирования LABVIEW, поскольку по своим характеристикам она наиболее подходит для создания математической модели, имеет мощный графический интерфейс и позволяет проводить анализ технических характеристик.

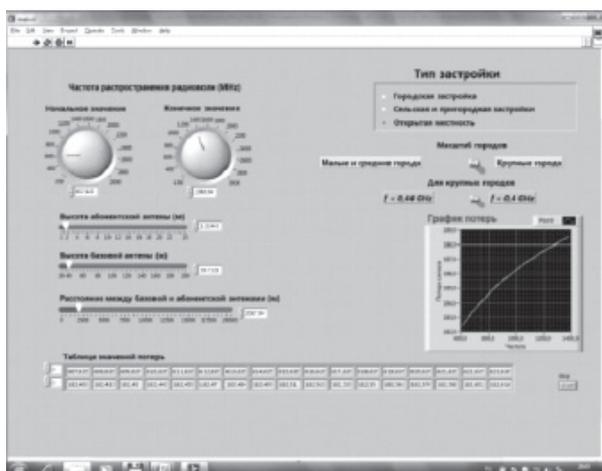


Рис. 1. Внешний вид страницы программы, выполненной на LABVIEW

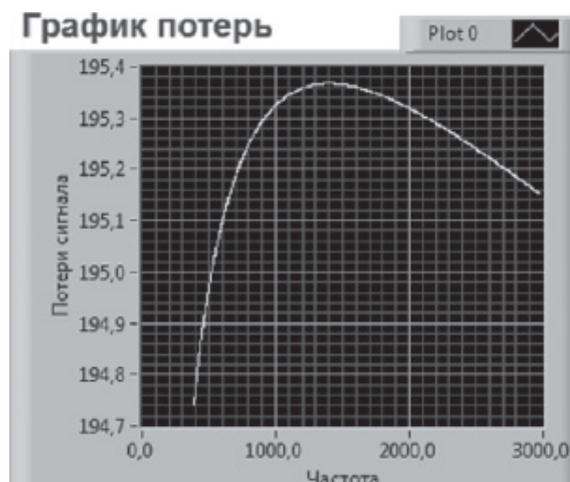


Рис. 2. График потерь в сельской местности

Пакет LABVIEW предназначен для построения графического интерфейса вычислений, и в настоящее время является одним из самых мощных универсальных вычислительных пакетов, применяемых для решения задач, возникающих в различных прикладных областях. В пакете реализованы классические численные алгоритмы решения задач линейной алгебры, нахождения значений определенных интегралов, аппроксимации, решения систем или отдельных дифференциальных уравнений. Визуальная среда включает графические объекты высокого уровня для визуализации данных, а также интерактивную среду, с помощью которой возможно имитировать различные измерительные приборы, используемые в научной деятельности.

Преимущество среды графического программирования LABVIEW перед другими языками программирования состоит в том, что в LABVIEW можно программировать весь изучаемый комплекс, а не отдельно взятый блок или устройство как это обычно делается. Встроенный программный пакет позволяет с помощью графических объектов создавать сложные объекты исследований. Средствами LABVIEW могут успешно решаться довольно сложные инженерные задачи, например, моделирование и анализ потерь радиоволн на трассе с прямой видимостью для систем радиодоступа.

Предпочтение системе LABVIEW было отдано, прежде всего потому, что она позволяет создавать развитые интерфейсные приложения, имеет удобные средства разработки анимации для визуализации динамических процессов, а графический вывод носит объектный характер и с ним можно взаимодействовать как на программном, так и на интерфейсном уровне на любом этапе работы. Удобный графический интерфейс с различными элементами управления позволяет изменять параметры моделей, и анализировать ее поведение при динамическом изменении различных параметров, например, частоты или расстояния между базовой и абонентской антеннами.

Такие программы удобно использовать при выдаче рекомендаций, консультаций и анализе процесса проектирования радиостанций в полосе частот  $30 \div 250$  МГц (диапазон ОВЧ), или  $450 \div 3000$  МГц (диапазон УВЧ) и расстояния от 10 до 50000 м. Рекомендации учитывают и различные пути распространения радиоволн: городская застройка, сельская, пригородная и горная местность.

На рис. 1 представлена страница программы, на которой с помощью движковых элементов и переключателей устанавливаются необходимые параметры моделирования потерь для разработки мобильной системы в заданной окружающей среде. С помощью этой программы, меняя параметры, используемые при расчете модели, можно проследить за изменением потерь радиосигнала. На рис. 2 представлен график потерь для сельской и пригородной местности при изменении частоты приема-передачи в диапазоне частот 400 МГц – 3 ГГц, а также высоте абонентской антенны  $h_{AC} = 1,73$  м, высоте базовой антенны  $h_{BC} \leq 55,7$  м и расстояния между антеннами  $R \approx 3$  км.

На рис. 3 представлен график потерь при городской застройке, изменении полосы пропускания от 533 МГц до 2,6 ГГц, а также высоте абонентской антенны  $h_{AC} = 1,73$  м, высоте базовой антенны  $h_{BC} \leq 46,7$  м и расстояния между антеннами  $R \approx 1,6$  км.

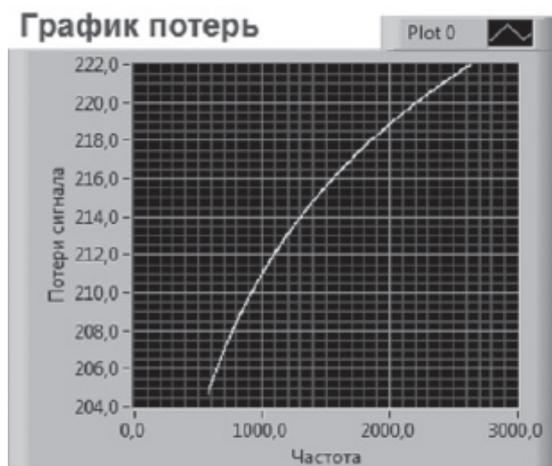


Рис. 3. График потерь при городской застройке

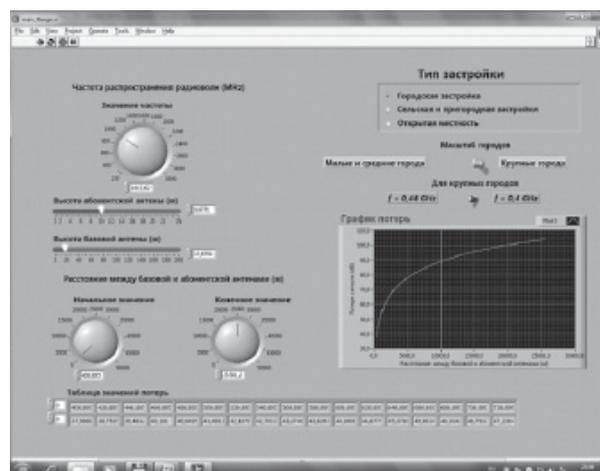


Рис. 4. Внешний вид страницы расчетов при различном удалении антенн между собой

Таким образом, меняя условия передачи радиосигнала, частоту, высоту абонентской и базовой антенн и расстояние между ними, можно проследить зависимость величины потерь радиосигнала при различных параметрах и условиях застройки. Другими словами можно визуальнo, с помощью компьютера представить “идеальные” данные использования модели Okumura-Nata, расчета потерь радиоволн при различных условиях, при которых не учитываются тонкие особенности местности, например, форма, материал и количество балконов на здании.

Имеется и другой вариант работы программы, при котором возможно визуальнo проанализировать изменение потерь радиосигнала в зависимости от удаления абонентской и базовой антенн друг от друга. С помощью дисковых указателей выбирается частота работы приемника и передатчика, а также расстояние между ними.

На рис. 4 показана страница программы, при помощи которой можно проводить анализ потерь радиосигнала при удалении базовой и абонентской антенн друг от друга на различные расстояния. Максимальное значение, которое учитывает модель Okumura-Nata – не более 30 километров.

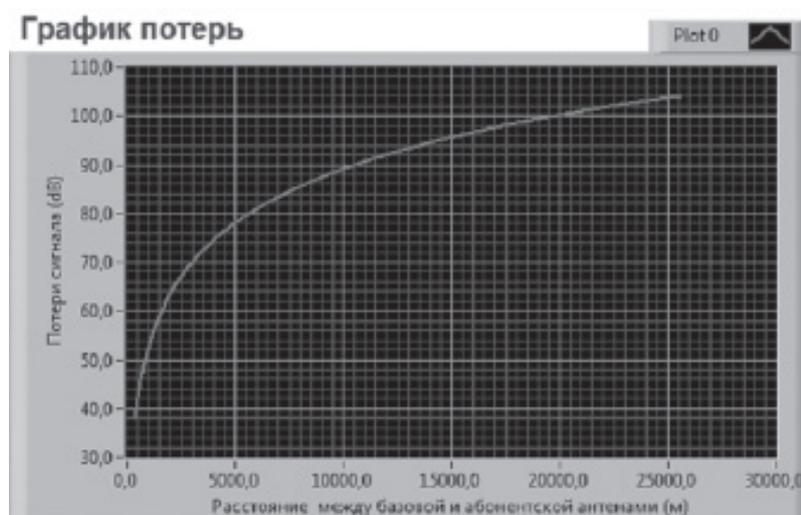


Рис. 5. График потерь радиосигнала при различном удалении антенн друг от друга

Кроме мощного графического интерфейса LABVIEW позволяет использовать и другие языки программирования, связывая свой интерфейс с другими мощными программными пакетами. Таким образом, анализ потерь с использованием различных математических моделей, дифракции, построение путей прохождения радиосигнала и других параметров, используемых при проектировании сотовых систем связи, можно объединить в одну интерактивную компьютерную систему. Она позволяет не только просчитывать и выдавать анализ характеристик приема-передачи, но и выдавать некоторые решения для улучшения способов проектирования систем мобильной радиосвязи. Другими словами, возможно построение экспертных систем, базирующихся не только на расчетных и экспериментальных данных, но и на знаниях, полученных в процессе обучения таких систем.

### *Литература*

1. *Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // Review of the Electr. Commun. Lab. 1968. V.16. № 9–10. P. 825–873.*
2. *Милютин Е.Р., Василенко Г.О. Повышение точности расчета ослабления поля с помощью калибровки и цифровых карт местности // Электросвязь. 2004. № 2. С. 38–40.*
3. *Логонов Н.А. Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации. М.: Радио и связь, 2000. 240 с.*
4. *Милютин Е.Р. Модели расчета потерь мощности сигнала в сотовых системах связи // Вестник СПбГУТ. 2008. № 4. С.160–170.*
5. *Давлатмамадов Г.А., Шубович А.Г. Построение радиорелейных линий связи в горной местности // Международный исследовательский центр ИС РАН. 2011. № 2. С.150–157.*