

УДК 004.94

Панахов Н.А.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан
depart7@iit.ab.az

ОБ ОДНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НАД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Предлагается алгоритм для расчета эффективной высоты передающей антенны для наклонных участков местности. Также рассмотрена задача наличия прямой видимости.

Ключевые слова: моделирование распространения радиоволн, эффективная высота, рельеф местности, передающая антенна, теле- и радиовещание, анализ видимости.

Введение

В последние годы наблюдается активное развитие сети теле- и радиовещания. Следует отметить особую важность пространственно-распределенной информации для моделирования распространения радиоволн и анализа видимости. При решении задач, связанных с распространением радиосигнала над земной поверхностью, невозможно не учитывать большое число факторов, влияющих на этот процесс. Моделирование распространения радиоволн с учетом перекрытия трассы топографическими препятствиями, электрических неоднородностей местности, частоты и поляризации излучения, растительности и т.д. повышает точность выполнения расчетов. Информация о рельефе местности является одной из главных составляющих при выполнении этих расчетных задач.

В настоящей работе рассматриваются вопросы создания специализированного программного обеспечения (ПО) для проектирования сети телевещания с возможностью оптимального размещения вещательных станций на основе геоинформационных технологий. ПО было разработано с использованием настольной ГИС-программы ArcView GIS 3.2a (ESRI, USA) и программы для проектирования антенно-фидерных устройств телерадиовещательных станций SR-4 (Aldena, Italy) [1–2]. В качестве картографической оболочки использовалась многослойная электронная векторная карта местности. Характерной особенностью ПО является интеграция ArcView GIS 3.2a и SR-4 посредством программных модулей, подготовленных в среде разработки Delphi и WinAPI. В ходе исследований, связанных с моделированием процессов распространения радиоволн, были рассмотрены рекомендованные Международным союзом электросвязи (МСЭ) методики и модели распространения радиоволн [6]. Изучены и проанализированы следующие математические модели [5]:

- идеализированные модели;
- детерминированные модели;
- эмпирические модели;
- статистические модели.

Эти модели могут быть использованы в зависимости от типа и области использования проектируемой системы. В некоторых случаях с целью получения наиболее приемлемого результата возможны эксперименты с различными моделями. Эти модели учитывают особенности и условия, влияющие на распространение радиоволн. Однако следует отметить, что эти модели имеют некоторые ограничения учета всех факторов:

- предопределенный частотный диапазон;
- ограничения по высоте приемника;
- отсутствие учета рельефа местности и др.

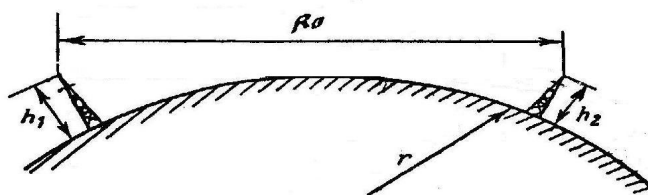
Расчетные модели распространения ультракоротких волн (УКВ), на которых ведется телевидение, учитывают следующие факторы:

• максимальная дальность распространения радиосигнала в пределах прямой видимости для гладкой сферической земной поверхности определяется по формуле [3]:

$$R_0 = \sqrt{2r}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1),$$

где:

- R_0 – предельное расстояние прямой видимости;
- h_1 – высота подвеса передающей антенны;
- h_2 – высота подвеса принимающей антенны;
- r – радиус Земли;



• влияние на дальность распространения радиоволн за пределы прямой видимости оказывает нормальная тропосферная рефракция. При этом предельное расстояние увеличивается примерно на 15% и в формулу (1) вводится эквивалентный радиус Земли;

- из-за сравнительно малой длины УКВ практически не свойственна дифракция, и они не могут огибать выпуклости земной поверхности;
- УКВ практически не отражаются от ионосферы;
- радиоволны рассеиваются разными наземными металлическими предметами.

При составлении ПО с целью повышения точности расчетов были рассмотрены и учтены следующие рекомендации МСЭ-R:

- МСЭ-R P.453-9 Индекс рефракции радиоволн: его формула и данные о рефракции;
- МСЭ-R P.526-10 Распространение радиоволн за счет дифракции;
- МСЭ-R P.530-12 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем прямой видимости;

- МСЭ-R P.1546-3 Метод прогнозирования для трасс «точка–зона» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц;
- МСЭ-R P.1812 Метод прогнозирования распространения радиоволн на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах ОВЧ и УВЧ.

В этих рекомендациях полностью или частично затронуты различные методы расчета поля над неоднородностью трассы в точке приема. Однако в них не предложена модель расчета эффективной высоты передающей антенны для наклонных участков местности. Следует отметить также, что формула (1) не учитывает влияния рельефа местности на прямую видимость. Это заметно снижает качество выполнения расчетных задач по моделированию. Учет влияния рельефа местности возможен с помощью и статистического, и детерминированного подхода. В первом случае высота, форма и взаимное расположение неровностей являются случайными величинами, а во втором подходе нужно учитывать конкретные неровности земной поверхности. Выбор соответствующего подхода зависит от типа и области использования проектируемой системы. В задачах, связанных с определением зон уверенного приема передач телерадиовещательных антенн, целесообразно использование статистического подхода. Это объясняется необходимостью обеспечения требуемого уровня сигнала в заданном проценте пунктов приема, которые расположены в любом радиальном направлении от передающей антенны. Не исключено, что в некоторых пунктах заданной зоны уровень сигнала может быть недостаточным, т.к. вопрос получения полного «охвата» иногда является либо технически невозможным, либо экономически выгодным.

В связи с вышеизложенным в данной статье рассматриваются вопросы расчета эффективной высоты передающей антенны и анализа прямой видимости между передающей и принимающими антеннами.

Эффективная высота передающей антенны для равнинной и равнинно-холмистой местности определяется как высота над поверхностью Земли, усредненная на участке от 3 до 15 км от места установки передатчика по направлению к точке приема:

$$h_{ef} = \begin{cases} h_1^* - Z_{av} & \text{при } h_1^* \geq 10\text{ м} \\ 10\text{ м} & \text{при } h_1^* < 10\text{ м} \end{cases} \quad (2),$$

где:

h_{ef} – эффективная высота подвеса передающей антенны, м;

h_1^* – высота подвеса передающей антенны над уровнем моря;

Z_{av} – средняя отметка участка 3...15 км, которая может быть определена по среднеарифметическим значениям отметок всех впадин и возвышенностей [3].

Для равнинной местности формула (2) однозначно определяет эффективную высоту передающей антенны, однако на наклонных участках и холмистой и горной местности приходится делать дополнительные расчеты и проводить предварительный анализ местности. Формализация алгоритма программного определения категории местности сложный процесс и при реализации занимает большую часть процессорного времени. С целью понижения временных затрат ниже предлагается алгоритм для расчета эффективной высоты антенны для

наклонных участков местности, который не требует проведения предварительного анализа местности.

Суть подхода в том, что за наклонную линию, проведенную через середину неровностей местности, принимается кривая первого порядка, аппроксимирующая высоту наклонной поверхности участка 3...30 км:

$$y_i = a x_i + b \quad (3),$$

где:

y_i – значение высоты на аппроксимирующей прямой;

x_i – расстояние в направлении от передающей антенны к точкам приема.

Для определения параметров a и b прямой (3) минимизируется функционал J :

$$J = \sum_i^n \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2 \rightarrow \min \quad (4),$$

где:

\hat{y}_i – значения высот наклонных неровностей;

n – количество точек неровностей в направлении от антенны до приемника:

$$y_i = a x_i + b \quad (5).$$

С учетом (3) и (4) получим:

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{s_2 s_3 - s_4 s_1}{s_2^2 s_1} \\ a &= \frac{s_4 - n b}{s_2} \end{aligned} \right\} \quad (6),$$

где:

$$s_1 = \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad s_2 = \sum_{i=1}^n x_i, \quad s_3 = \sum_{i=1}^n x_i \hat{y}_i, \quad s_4 = \sum_{i=1}^n \hat{y}_i \quad (7).$$

Следовательно, предлагается определение параметра z_{av} в формуле (2) для участков с наклонными поверхностями следующим образом:

$$z_{av} = y_i(x_i = 0) = a \times 0 + b = b \quad (8).$$

Проведенные исследования по результатам моделирования показали, что, независимо от степени наклонности участков, для расчета z_{av} справедливо соотношение (8).

Задача анализа наличия прямой видимости между передающей и принимающими антеннами решается с учетом рельефа между ними и сферичностью Земли. На рис.1 приведена схема анализа наличия прямой видимости до горизонта:

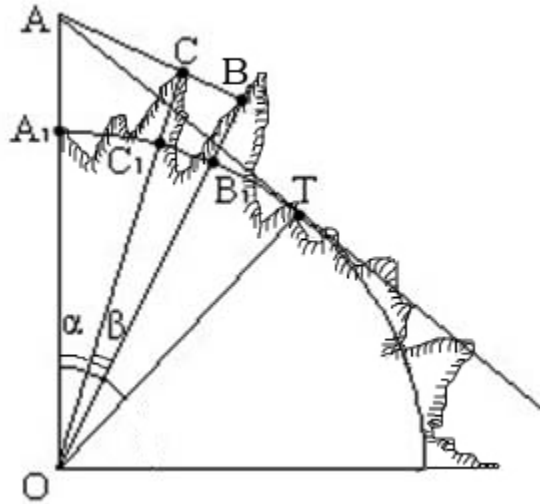


Рис.1. Схема анализа наличия прямой видимости до горизонта.

На рис.1 приняты следующие обозначения:

$OA_1 = OC_1 = OB_1 = OT = R$ – радиус Земли;

A – точка расположения передающей телевизионной антенны;

C – точка расположения экранирующей высоты;

B – точка расположения исследуемой точки;

T – точка касания касательной линии к горизонту Земли, проходящая через точку излучения антенны;

$AA_1 = h_0$ – высота телевизионной антенны;

$CC_1 = h_s$ – экранирующая высота;

$BB_1 = h_{s+\delta}$ – высота исследуемой точки;

$\cup A_1C_1 = s$ – дуга с радиусом R , которой соответствует угол $\alpha = \angle AOC$;

$\cup C_1B_1 = \delta s$ – дуга с радиусом R , которой соответствует угол $\beta = \angle COB$;

$\cup A_1T = s_\tau$ – дуга с радиусом R от антенны до точки касания T .

Используя геометрическую зависимость, на рис.1 определяется дуга s_τ . Так как:

$$\cos \frac{s_\tau}{R} = \frac{|OT|}{|OA|} \quad (9)$$

или:

$$\cos \frac{s_\tau}{R} = \frac{R}{R + h_0} \quad (10),$$

вычисляется:

$$s_\tau = R \cdot \arccos \left(\frac{R}{R + h_0} \right) \quad (11).$$

Для решения поставленной задачи было рассмотрено два варианта в зависимости от месторасположения точки B относительно точек A и T . В первом варианте было принято, что B находится между точками A и T . Это означает:

$$s + \delta s < s_\tau \quad (12).$$

Так как площадь треугольника $\triangle OAB$ равна сумме площадей треугольников $\triangle OAC$ и $\triangle OCB$, выражая площади треугольников через произведение их сторон и синуса угла между ними, получим:

$$\begin{aligned} |OA| \cdot |OB| \cdot \sin(\angle AOB) &= |OA| \cdot |OC| \times \\ &\times \sin(\angle AOC) + |OC| \cdot |OB| \cdot \sin(\angle COB) \end{aligned} \quad (13)$$

или:

$$\begin{aligned} (R + h_0) \cdot (R + h_{s+\delta s}) \cdot \sin(\alpha + \beta) &= (R + h_0) \cdot (R + h_s) \times \\ &\times \sin \alpha + (R + h_s) \cdot (R + h_{s+\delta s}) \cdot \sin \beta \end{aligned} \quad (14).$$

Следовательно:

$$\frac{\sin \frac{s + \delta s}{R}}{R + h_s} = \frac{\sin \frac{s}{R}}{R + h_{s+\delta s}} + \frac{\sin \frac{\delta s}{R}}{R + h_0} \quad (15)$$

или:

$$h_{s+\delta s} = \frac{(R + h_0) \cdot (R + h_s) \cdot \sin \frac{s}{R}}{(R + h_0) \cdot \sin \frac{s + \delta s}{R} - (R + h_s) \cdot \sin \frac{\delta s}{R}} - R \quad (16).$$

Таким образом, в случае выполнения условия (12), т.е. если:

$$s + \delta s < R \cdot \arccos\left(\frac{R}{R + h_0}\right) \quad (17),$$

то для достижения прямой видимости телевизионной антенны высота находящегося в точке B объекта должна быть больше, чем $h_{s+\delta s}$, вычисленный по формуле (16).

Затем предполагается, что T находится между точками A и B (рис.2).

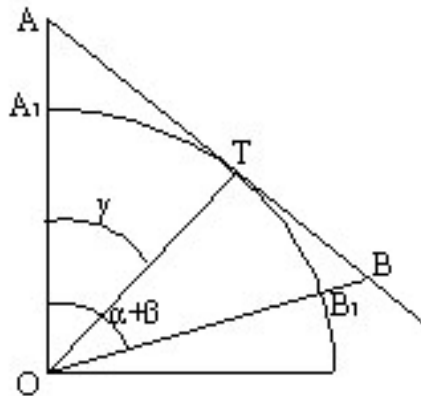


Рис.2. Схема анализа наличия прямой видимости после горизонта.

Это означает, что выполняется неравенство:

$$s + \delta s > s_\tau > s \quad (18).$$

В этом случае поверхность Земли также может выступать как экранирующая высота.

Следовательно, определение максимальной экранирующей высоты будет обуславливаться также дополнительным условием:

$$h_{s+\delta} > |BB_1| \quad (19),$$

т.е.:

$$h_{s+\delta} > \frac{R}{\cos(\alpha + \beta - \gamma)} - R \quad (20),$$

$$\gamma = \arccos \frac{R}{R + h_0} \quad (21)$$

или:

$$h_{s+\delta} > \frac{R}{\cos\left(\frac{s + \delta}{R} - \arccos \frac{R}{R + h_0}\right)} - R \quad (22).$$

Таким образом, для наличия прямой видимости между передающей и принимающими телевизионными антеннами должно выполняться условие:

$$h_{s+\delta} > \max \left\{ \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot \sin \frac{s}{R}}{R_1 \cdot \sin \frac{s + \delta}{R} - R_2 \cdot \sin \frac{\delta}{R}} - R, \frac{R}{\cos\left(\frac{s + \delta}{R} - \arccos \frac{R}{R_1}\right)} - R \right\} \quad (23),$$

где:

$$R_1 = R + h_0, R_2 = R + h_s \quad (24).$$

Заключение

На основе предложенных алгоритмов по определению эффективной высоты передающей антенны и анализа наличия прямой видимости разработаны скрипты на языке Avenue среды ArcView GIS. Полученные результаты моделирования подтверждают справедливость предложенных алгоритмов. Данная методика обеспечивает создание достаточно адекватной компьютерной модели распространения радиоволн над земной поверхностью.

Литература

1. Программа для визуализации, запроса и анализа пространственной информации. www.esri.com/software/arcgis/arcview/index.html
2. Проектирование вещательных антенных систем. www.aldena.it
3. Локшин М.Г., Шур А.А., Кокорев А.В., Краснощеков Р.А. Сети телевизионного и звукового ОБЧ ЧМ-вещания. М.: Радио и связь, 1988, 144 с.
4. Панахов Н.А. Разработка компьютерной модели для расчета зоны вещания телерадиовещательных антенн с учетом неровностей земной поверхности // Информационные технологии. 2007, №1, с.15–17.
5. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет и моделирование распространения радиоволн в городской среде и пересеченной местности с помощью программы Wireless Insite. www.ioso.ru/distance/Wireless_insite.html
6. Рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ) – International Telecommunication Union (ITU). www.itu.int

Pənahov N.A.

AMEA İnformasiyaTexnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan depart7@iit.ab.az

Radio dalğaların yer səthi üzərində yayımının bir imitasiya modeli haqqında

Yer səthinin dağlıq sahələri üçün ötürücü antenlərin effektiv hündürlüyünün hesablanması alqoritmləri təklif olunur. Həmçinin ötürücü və qəbuledici antenlərin qarşılıqlı görmə məsələsi də araşdırılır.

Açar sözlər: radiodalğaların yayımının modelləşdirilməsi, effektiv hündürlük, yer səthinin relyefi, ötürücü anten, tele və radio yayım, qarşılıqlı görmənin təhlili.

Panahov N.A.

Institute of Information Technology ANAS, Baku, Azerbaijan

depart7@iit.ab.az

On an imitation model of distribution of radio waves above a terrestrial surface

The algorithm for calculation of effective height of the transferring aerial for inclined sites of area is offered. Also the problem of presence of direct visibility is considered.

Key words: Modeling of distribution of radio waves, effective height, relief of land, transferring aerial, tele- and broadcasting, analysis of visibility.