

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ И ДЛИНЫ ТРАЕКТОРИИ АТМОСФЕРНОГО ВОЛНОВОДА ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Р.П. БАБЕРЦЯН, Ж.Б. ХАЧАТРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 30 мая 1994 г.)

В работе обсуждается возможность определения параметров приводного волновода - таких, как длина траектории и высота волновода, с помощью исходных параметров - высоты местности над уровнем моря, на котором установлена антенна радиосистемы, и углов визирования.

1. Введение

Разработка дистанционных радиофизических методов, основанных на анализе параметров микроволнового теплового излучения атмосферы для "малых" и "скользящих" углов визирования, обеспечивающих определение условий возникновения приземного волновода, имеет большую практическую ценность (особенно для радиоинженеров) и научный интерес. Это связано с тем, что заранее возможно определить условия распространения микрорадиоволн. Это важно для мощных передатчиков, как, например, активных радиолокаторов или систем радиосвязи, тем самым обеспечивая прогноз дальности и надежности их работы [1]. Можно также определить расстояния, на которых излучающий объект может быть обнаружен средствами радиоразведки.

Насколько нам известно, возможность определения параметров приземного волновода радиометрическим методом впервые обсуждается в работе [2].

В этой статье предлагается метод определения длины и высоты приземного волновода, выраженных через высоту местности, на которой установлена антенна, и углы места визирования радиолуча. Расчеты параметров волновода (высота и длина траектории) приведены для разных рефракционных условий, обеспечивающих образование приводного волновода.

Когда скорость изменения показателя преломления воздуха с высотой (т.е. градиент $N=(n-1) \cdot 10^6$ по высоте) меньше -157 N ед./км , говорят, что у поверхности земли существуют волноводные условия. В условиях сверхрефракции (волноводные условия) некоторые лучи могут подвергаться захватыванию и направляться внутрь атмосферного волновода. Сверхрефракционная ситуация, вызванная разными синоптическими условиями, приводит к замиранию напряженности (падение мощности радиосигнала ниже некоторого определенного уровня) на радиотрассах в пределах горизонта, поскольку происходит искажение или дефокусировка диаграммы направленности антенны передатчика вдоль каждой радиотрассы. В литературе имеется обширный материал об изучении замираний радиосигнала на трассе прямой видимости, вызванных приземными слоями сверхрефракции [3,4].

2. Расчет параметров атмосферного волновода, когда антенна приемника расположена над уровнем моря

Расчеты параметров атмосферного приземного волновода приводятся в предположении наличия горизонтально-сферической слоисто-однородной атмосферы, полагая, что коэффициент преломления воздуха n зависит от высоты h над подстилающей поверхностью и не зависит от других координат.

В действительности модель горизонтально слоисто-однородной атмосферы осуществляется крайне редко, поскольку атмосфера подвержена непрерывному влиянию метеорологических факторов. Слоистость атмосферы, вызванная разными синоптическими условиями, приводит к возникновению атмосферной сверхрефракции.

Вводя обозначения, как показано на рис. 1а, получим связь элемента длины траектории dl и угла θ , под которым радиолуч пересекает сферическую поверхность $r=\text{const}$:

$$dl = \frac{dh}{\sin \theta} = \frac{dh}{\sqrt{1 - \cos^2 \theta}} \quad (1)$$

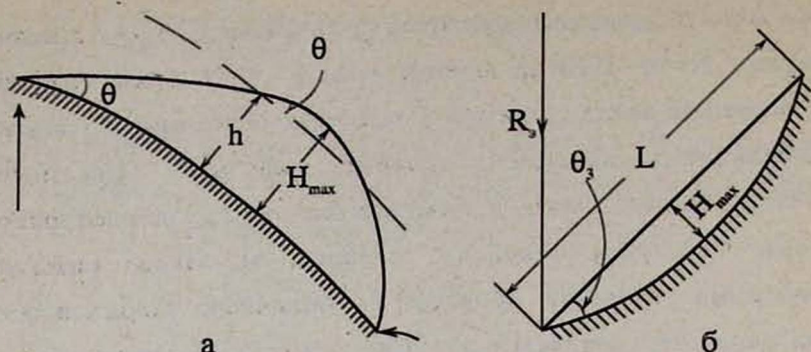


Рис.1. а) Вид траектории радиолуча при волноводном распространении радиоволн.
б) Вид эквивалентной формы Земли при сверхфракции.

Учитывая закон Снеллиуса для сферически слоисто-однородной атмосферы

$$\operatorname{tg} \cos \theta = R_3 n_3 \cos \theta_3, \quad (2)$$

где n_3 — коэффициент преломления атмосферы у поверхности Земли, R_3 — радиус земного шара, θ_3 — угол относительно горизонта, под которым направлена антенна приемника (угол визирования антенны), установленная на поверхности Земли,

$$L = \int dl = 2 \int_0^{H_{\max}} \frac{dh}{\sqrt{1 - \frac{n_3^2 R_3^2 \cos^2 \theta_3}{(R_3 + h)^2 n^2(h)}}}, \quad (3)$$

где $H_{\max}$ — максимальная высота траектории радиолуча (высота волновода).

Максимальную высоту волновода $H_{\max}$ можно определить из следующего условия: в точке максимума угол визирования радиолуча $\theta = 0$ (рис. 16). Учитывая последние соображения, выражение (2) примет вид:

$$(R_3 + H_{\max}) n(H_{\max}) = R_3 n_3 \cos \theta_3. \quad (4)$$

Задачу можно упростить, вводя градиент коэффициента преломления и полагая его постоянство до высоты $H_{\max}$:

$$n(h) = n_3 + \frac{dn}{dh} h. \quad (5)$$

В этом случае используется классический метод расчета влияния атмосферы на поведение распространения радиоволн с учетом введения эквивалентного радиуса Земли $R_s = kR_e$, где k — коэффициент эффективного радиуса. В этом методе [5] предлагается увеличение радиуса Земли по сравнению с действительным, так, что относительная кривизна луча и Земли остается той же самой. Таким образом, появляется возможность представить траектории радиолучей в виде прямых линий. Этот метод расчета атмосферной рефракции допускает существенное упрощение во многих практических задачах инженерного расчета распространения радиоволн.

Связь эффективного радиуса Земли с градиентом показателя преломления $\frac{dn}{dh}$ имеет вид

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_e} + \frac{1}{n} \frac{dn}{dh} \quad (6)$$

Следует отметить, что при условиях сверхрефракции $\frac{1}{n} \frac{dn}{dh} > \frac{1}{R_e}$ эквивалентный радиус Земли является отрицательной величиной (формула 6). Поэтому эквивалентная форма Земли при условиях сверхрефракции будет вогнутой (рис. 16).

Как известно, переход к эквивалентному радиусу Земли является линейным приближением индекса рефракции, которое с достаточной для практики точностью описывает параметры траектории радиолуча.

В рамках линейного приближения выражение (3) можно упростить:

$$L = -2R_s \sin \theta_s = 2 \sin \theta_s \left(\frac{1}{R_e} + \frac{1}{n} \frac{dn}{dh} \right)^{-1} \quad (7)$$

В концепции эквивалентного радиуса Земли максимальная высота волновода выражается формулой

$$H_{\max} = R_s (\cos \theta_s - 1) = \left(\frac{1}{R_e} + \frac{1}{n} \frac{dn}{dh} \right)^{-1} (\cos \theta_s - 1) \quad (8)$$

На рис. 2а и 2б представлены результаты машинных расчетов зависимости длины траектории радиолуча $L(\theta)$ и максимальной высоты траектории $H_{\max}(\theta)$ от угла места θ при различных значениях градиента индекса рефракции.

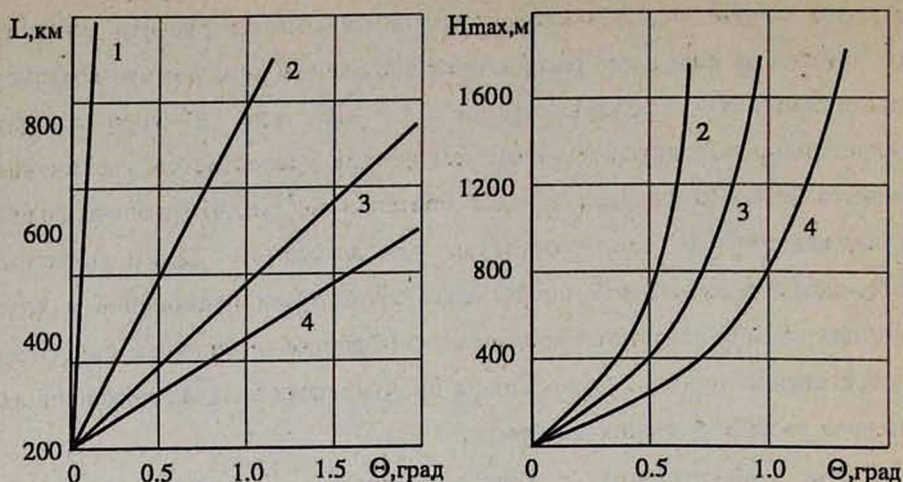


Рис. 2. а) Зависимость длины траектории радиолуча L от угла визирования θ , б) Зависимость максимальной высоты волновода H от угла места θ .

3. Расчет параметров волновода при расположении антенны на некоторой высоте над уровнем моря

В случае, если антенна приемника расположена на некоторой высоте H_0 над уровнем моря, соотношение для максимальной высоты волновода $H_{\max}$ приобретает вид

$$H_{\max} = R_s(\cos\theta_0 - 1) + H_0 \cos\theta_0, \quad (9)$$

где θ_0 — местный угол визирования.

Длина траектории волновода для первого отражения от поверхности Земли также изменяется и для строгих вычислений может быть рассчитана из соотношения

$$L = \int_{H_0}^{H_{\max}} \frac{dh}{\sqrt{1 - \frac{(R_s + H_0)^2 n^2 (H_0) \cos^2 \theta_0}{(R_s + h)^2 n(h)}}} + \int_0^{H_{\max}} \frac{dh}{\sqrt{1 - \frac{(R_s + H_0)^2 n^2 (H_0) \cos^2 \theta_0}{(R_s + h)^2 n(h)}}}. \quad (10)$$

При линейном приближении с использованием эквивалентного радиуса Земли выражение для расчетов величины L может быть упрощено:

$$L = -(R_s + H_0) \sin\theta_0 - R_s \sin\theta_1, \quad (11)$$

где θ — угол, дополнительный к углу падения радиолуча на поверхность Земли.

Учитывая, что

$$(R_s + H_0) \cos \theta_0 = R_s \cos \theta,$$

выражение (11) приведем к виду

$$L = -(R_s + H_0) \sin \theta_0 - R_s \sqrt{1 - \frac{(R_s + H_0)^2}{R_s^2} \cos^2 \theta_0}. \quad (12)$$

В соотношениях (9) и (12) высота волновода $H_{\max}$ и длина его траектории L определяются исходными параметрами - высотой местности радиосистемы H_0 и углом места визирования θ_1 .

Из экспериментальных данных следует, что высота слоя, в котором выполняются условия сверхрефракции, не бывает выше одного километра. На рис. 2а наглядно иллюстрируется диапазон возможных углов визирования θ , при которых распространение микрорадиоволнового излучения будет соответствовать условиям приземного волновода. Очевидно, что условие волноводного распространения зависит от градиента коэффициента преломления и диапазона углов места θ для реальной атмосферы, а условия, удовлетворяющие сверхрефракции, заключены в пределах $0-1^\circ$.

Авторы выражают благодарность проф. О.С. Ерицяну за ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Е.Башаринов, Л.Г.Тучков, В.М.Поляков, Н.И.Ананов. Докл. на первой Всесоюзной конференции по радиометеорологии. Фрунзе, 1972.
2. А.Г.Горелик, Ж.Б. Хачатрян. XV Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Алма-Ата, 1987.
3. W.L.Price. Proc. Phys. Soc., 61, 59 (1948).
4. F.Ikezami. IRE Trans., Ant. Prop., AP-7, 252 (1959).
5. A.C.Schellend, C.R. Burrows, E.V. Ferrell. Proc. IRE, 21, 427 (1933).

DETERMINATION OF MAXIMAL HEIGHT AND LENGTH OF TRAJECTORY OF THE ATMOSPHERIC WAVEGUIDE FOR MICROWAVE RADIATION

R.P. BABERTSIAN, Zh.B. KHACHATRIAN

A method is offered which makes possible to determine the height and trajectory distance of the near-water atmospheric waveguide.