

УДК 538.61

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННОГО ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЛНОВОДА

Ж.Б. ХАЧАТРЯН, С.А. МХИТАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 3 октября 2000 г.)

Рассчитана радиояркостьная температура атмосферного волновода при конкретных значениях градиентов показателя преломления атмосферы и диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности. Расчеты проведены для вертикально и горизонтально поляризованных тепловых излучений. Обоснована возможность определения градиента коэффициента преломления путем прямых измерений теплового излучения.

1. Введение

В 1970-80-х годах были предложены радиометрические методы для прогноза образования приземного высокочастотного волновода [1-4]. Разработка радиофизических методов, основанных на анализе микроволнового теплового радиоизлучения и обеспечивающих определенные условия возникновения приводного волновода, проведена в работах [5-8]. В [5,9] теоретически предложен радиополяриметрический метод исследования приводного волновода. Результаты таких расчетов сопоставляются с данными прямых радиометрических измерений. Для практического осуществления этого метода требуется применение прецизионных высококачественных радиометров с очень узкой диаграммой направленности антенной системы.

В настоящей статье проведены расчеты параметров волновода при конкретных значениях градиентов показателя преломления и диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности.

Расчеты параметров волновода проводились при различных значениях следующих параметров:

$\bar{T}_a$ – средняя термодинамическая температура атмосферы,

T_n – термодинамическая температура подстилающей поверхности,

$\gamma(l)$ – линейный коэффициент поглощения вдоль трассы: $[\gamma] = \text{дБ/км}$,

L – протяженность траектории радиолуча между двумя отражениями от поверхности Земли (длина одной петли волновода): $[L] = \text{км}$,

$H_{\max}$ – максимальная высота волновода: $[H_{\max}] = \text{км}$,

dn/dx – градиент показателя преломления: $[dn/dx]=\text{м}^{-1}$,

ε – диэлектрическая проницаемость плоской подстилающей поверхности (для гладкой морской поверхности в диапазоне от дециметровых до миллиметровых волн эта величина изменяется от 81 до 20),

θ – угол места, под которым проводятся измерения: $[\theta] = \text{град}$.

При расчетах угол θ варьировался в широком интервале – от $0,1^\circ$ до 45° .

2. Расчет параметров волноводной трассы

Длина траектории волновода L и максимальная высота трассы $H_{\max}$ рассчитаны по формулам [5]

$$L_{\max} = -2 \sin \theta_3 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{n_3} \frac{dn}{dx} \right)^{-1}, \quad (1)$$

$$H_{\max} = (\cos \theta_3 - 1) \left(\frac{1}{R_3} + n_3 \frac{dn}{dx} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Результаты расчетов представлены в табл.1.

Таблица 1

	$dn/dx = -25 \cdot 10^{-8} \text{м}^{-1}$		$dn/dx = -30 \cdot 10^{-8} \text{м}^{-1}$	
$\theta [\text{град}]$	$L [\text{км}]$	$H_{\max} [\text{км}]$	$L [\text{км}]$	$H_{\max} [\text{км}]$
0.10	38	0.02	24	0.01
0.20	75	0.07	49	0.04
0.30	113	0.15	73	0.10
0.40	150	0.26	98	0.17
0.5	188	0.41	122	0.27
0.6	225	0.59	147	0.38
0.7	263	0.80	171	0.52
0.8	300	1.05	195	0.68
0.9	338	1.33	220	0.86
1.00	376	1.64	244	1.07
1.10	413	1.98	269	1.29
1.20	451	2.36	293	1.53
1.30	488	2.77	317	1.80
1.40	526	3.21	342	2.04
1.50	563	3.69	366	2.90

	$dn/dx = -16 \cdot 10^{-8} \text{м}^{-1}$		$dn/dx = -20 \cdot 10^{-8} \text{м}^{-1}$	
$\theta [\text{град}]$	$L [\text{км}]$	$H_{\max} [\text{км}]$	$L [\text{км}]$	$H_{\max} [\text{км}]$
0.10	152	0.07	81	0.04
0.20	304	0.27	163	0.14
0.30	456	0.60	244	0.32
0.40	608	1.06	325	0.56

0.5	760	1.66	406	0.89
0.6	912	2.35	488	1.28
0.7	1064	3.25	569	1.74
0.8	1216	4.25	650	2.27
0.9	1368	5.37	731	2.87
1.00	1520	6.69	813	3.54
1.10	1673	8.03	894	4.29
1.20	1825	9.55	975	5.11
1.30	1977	11.21	1056	5.99
1.40	2129	13.01	1138	6.95
1.50	2281	14.92	1219	7.98

Расчеты коэффициентов отражения от подстилающей поверхности для горизонтальной и вертикальной составляющих поляризации проводились по следующим соотношениям:

$$R_{\parallel} = \frac{\varepsilon \sin \theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}}{\varepsilon \sin \theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}}, \quad (3)$$

$$R_{\perp} = \frac{\sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta} - \sin \theta}{\sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta} + \sin \theta}. \quad (4)$$

Эти результаты представлены в табл.2.

Таблица 2

	$\varepsilon = 49$		$\varepsilon = 25$		$\varepsilon = 81$		$\varepsilon = 64$	
θ	$R_{\parallel}$	$R_{\perp}$	$R_{\parallel}$	$R_{\perp}$	$R_{\parallel}$	$R_{\perp}$	$R_{\parallel}$	$R_{\perp}$
0.2	0.906	0.998	0.931	0.997	0.881	0.998	0.893	0.998
0.4	0.821	0.996	0.867	0.994	0.776	0.997	0.790	0.996
0.6	0.743	0.994	0.807	0.991	0.684	0.995	0.713	0.995
0.8	0.673	0.992	0.752	0.929	0.601	0.994	0.636	0.993
1.0	0.609	0.990	0.700	0.986	0.529	0.992	0.567	0.991
1.2	0.551	0.998	0.651	0.983	0.464	0.991	0.506	0.990
1.4	0.497	0.988	0.606	0.980	0.407	0.989	0.400	0.986
1.6	0.449	0.986	0.563	0.977	0.356	0.988	0.400	0.986
1.8	0.404	0.984	0.527	0.975	0.310	0.986	0.355	0.984
2.0	0.365	0.982	0.487	0.972	0.270	0.985	0.314	0.983
2.4	0.328	0.980	0.452	0.969	0.234	0.983	0.278	0.981
2.6	0.295	0.978	0.420	0.966	0.203	0.981	0.245	0.977
2.8	0.264	0.976	0.389	0.964	0.174	0.981	0.216	0.976
3.0	0.237	0.974	0.361	0.960	0.149	0.980	0.189	0.974
3.2	0.211	0.972	0.331	0.958	0.127	0.978	0.165	0.972
3.4	0.188	0.970	0.310	0.955	0.108	0.977	0.125	0.971
3.6	0.167	0.968	0.287	0.950	0.091	0.975	0.107	0.969
3.8	0.148	0.966	0.245	0.947	0.076	0.972	0.092	0.867
4.0	0.115	0.964	0.226	0.945	0.062	0.969	0.078	0.965

Радиояркие температуры приземного волновода при приеме параллельной и вертикальной составляющих поляризации определяются соотношениями [7]

$$T_{Я\parallel} = [T_1 + (1 - R_{\parallel})T_n\xi] \frac{1}{1 - \xi R_{\parallel}} = (T_1 + T_2) \frac{1}{1 - q_{\parallel}}, \quad (5)$$

$$T_{Я\perp} = [T_1 + (1 - R_{\perp})T_n\xi] \frac{1}{1 - \xi R_{\perp}} = (T_1 + T_2) \frac{1}{1 - q_{\perp}}, \quad (6)$$

где $\xi = \exp[-\tau(L)]$ есть пропускание атмосферы на трассе, $q_{\parallel} = R_{\parallel} \exp[-\tau(L)]$ и $q_{\perp} = R_{\perp} \exp[-\tau(L)]$ – вклад подстилающей поверхности ослабляющегося в атмосфере излучения для параллельной и ортогональной составляющих поляризации соответственно. T_1 является вкладом в радиояркую температуру вследствие теплового излучения атмосферы на участке L , а T_2 – вклад подстилающей поверхности. Их определяют по следующим соотношениям [7]:

$$T_1 = \int_0^L T(l) \gamma(l) \exp[-\tau(l)] \frac{dl}{\sin \theta} = \bar{T}_a \{1 - \exp[-\tau(l)]\} = \bar{T}_a (1 - \xi), \quad (7)$$

$$T_2 = (1 - R) T_n \exp[-\tau(l)], \quad (8)$$

где $R = R_{\parallel}$ – коэффициент отражения для горизонтальной, а $R = R_{\perp}$ – для вертикальной составляющей поляризации.

Результаты вычислений, которые приведены в таблицах, позволяют сделать следующие выводы.

1. При градиенте $|dn/dx|$, незначительно превышающем граничное значение сверхрефракции, равное $15,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, длина пути луча в атмосфере велика. Например, при $|dn/dx| = 20 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ и $\theta = 0,2$ град длина траектории радиолуча составляет 163 км, и $T_{Я}$ независимо от вида поляризации близка к средней термодинамической температуре атмосферы $\bar{T}_a$. Этот факт хорошо согласуется с выводами, изложенными в работах [1-4], где подчеркивается слабая зависимость $T_{Я}$ от поляризации при $\xi \rightarrow 0$. Вследствие относительно большого линейного коэффициента поглощения ($\gamma \sim 0,01$), вклад T_2 незначителен.

2. С увеличением модуля градиента коэффициента преломления $|dn/dx|$ (табл.1) длина L уменьшается, что приводит к возрастанию вклада температуры подстилающей поверхности. Причем, чем меньше затухание (γ), тем большую долю излучения формирует подстилающая поверхность.

3. При больших значениях ξ и при $\theta = 0,1$ град расчетная разность ярких температур горизонтальной и ортогональной составляющих достигает $T_{Я\parallel} - T_{Я\perp} = 3,1 \text{ К}$.

3. Заключение

Таким образом, приведенные расчеты показывают, что важным

информационным параметром является $\Delta T_{\theta} = T_{\theta\parallel} - T_{\theta\perp}$ [1-4], который при заданном направлении зондирования θ тем больше, чем больше градиент коэффициента преломления и, чем меньше ослабление атмосферы или, что тоже самое, больше ее пропускательная способность. Поэтому, проводя измерения в диапазонах 8,5мм и 3,5мм, где величина коэффициента поглощения составляет всего $0,001 + 0,002 \text{ км}^{-1}$ (или $0,004 + 0,008 \text{ дБ/км}$), можно по ΔT_{θ} оценить состояние сверхрефракции и определить градиент коэффициента преломления $|dn/dx|$.

В заключение отметим, что используемая модель атмосферы с постоянным градиентом коэффициента преломления безусловно идеализирована. Очевидно, что градиент показателя преломления не может быть постоянным, даже до высоты 1 км. По-видимому, реальная толщина слоя, в котором возможно создание условия сверхрефракции, не превышает 0,4 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.И.Рабинович, Г.Г.Шукин, В.Г.Волков, Н.Н.Куренко. Труды ГГО, 235, 72 (1970).
2. Г.Г.Шукин, Л.И.Бобылев. В кн. Радиофизические исследования атмосферы. Л., Гидрометиздат, 1977, с.170-181.
3. Г.Г.Шукин, Ю.А.Мельник, И.В.Андреев. Труды ГГО, 407, 69 (1982).
4. И.В.Андреев, Ю.А.Мельник, Н.Р.Михайлов, Ю.И.Попов, В.А.Рыжков и др. Труды ГГО, 470, 91 (1982).
5. Р.П.Баберця, Ж.Б.Хачатрян. Изв. НАН Армении, Физика, 29, 178 (1994).
6. Ж.Б.Хачатрян. Изв. НАН Армении, Физика, 31, 170 (1996).
7. Ж.Б.Хачатрян, С.А.Мхитарян. Изв. НАН Армении, Физика, 35, 196 (2000).
8. А.П.Наумов и др. Радиофизика, 42, вып.1, 45 (1999).
9. И.Т.Бубкин, Л.П.Коган. Радиофизика, 42, вып.5, 438 (1999).

ՄԹՆՈՒՆՈՐՏԱՅԻՆ ԱԼԻԲՍԱՐԻ ՍԵՓԱԿԱՆ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ժ.Բ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Ա. ՄԽԻՏՐԻԱՆ

Ներկայացված է մթնոլորտային ալիքատարի ռադիոլումինացիայի ջերմաստիճանի հաշվարկը մթնոլորտի բեկման ցուցչի գրադիենտի և ենթաժամկետ մակերևույթի դիէլեկտրական քափանցելիության որոշ արժեքների դեպքում: Հաշվարկները կատարված են ջերմային ճառագայթման ուղղահայաց և հորիզոնական բևեռացմամբ քաղաղրիչների համար: Հիմնավորված է ջերմային ճառագայթման ուղղակի չափումների միջոցով մթնոլորտի բեկման ցուցչի գրադիենտի որոշման հնարավորությունը:

CALCULATION OF PARAMETERS OF OWN THERMAL RADIATION OF AN ATMOSPHERE WAVEGUIDE

ZH.B. KHATCHATRIAN, S.A. MKHITARIAN

The radioluminiscence temperature of an atmosphere waveguide is calculated for certain values of the refraction index gradient and nearground layer dielectric permittivity. The calculations are carried out for vertically and horizontally polarized thermal radiation. A possibility to determine the refraction index gradient by direct measurements of thermal radiation is substantiated.