

УДК 538.61

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА РАДИОЯРКОСТНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ СВЧ РАДИОВОЛН ПРИ УСЛОВИИ СВЕРХРЕФРАКЦИИ АТМОСФЕРЫ

Ж.Б. ХАЧАТРЯН, С.А. МХИТАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 26 сентября 1999 г.)

В работе проведены расчеты угловой зависимости разности радиояростной температуры для вертикальной и горизонтальной составляющих вектора поляризации. Показано, что при определенных условиях разность радиояростных температур максимальна и пропорциональна разности термодинамических температур между атмосферой и подстилающей поверхностью.

1. Введение

Как известно, спектр радиоизлучения подстилающей поверхности атмосферы в микроволновом диапазоне длин волн подобен спектру излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Излучательная способность твердых тел и жидкостей определяется следующими основными факторами: диэлектрической проницаемостью вещества излучателя, степенью гладкости излучающей поверхности, а также видом поляризации излучения. Для гладкой поверхности поляризационные коэффициенты могут быть вычислены по известным формулам Френеля.

В работе [1] приведены расчеты параметров приземного высокочастотного волновода, в частности, высота и длина волноводной трассы. В [2] рассчитана радиояростная температура атмосферного волновода, с учетом отражения электромагнитного излучения от поверхности Земли. При этом предполагалась радиооднородность атмосферы по горизонтали (показатель преломления атмосферы зависит только от высоты). Однако в [1,2] не учитывалось изменение характера поляризации отраженной волны. Вместе с тем, представляет большой практический интерес определение угловой зависимости разности радиояростных температур для разных составляющих поляризации [3-5].

2. Угловая зависимость коэффициентов отражения

Угловая зависимость коэффициентов отражения для вертикаль-

ной и горизонтальной составляющих поляризации имеет следующий вид:

$$R_{\Pi}(\theta) = \left[\frac{\varepsilon \sin \theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}}{\varepsilon \sin \theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}} \right]^2, \quad (1)$$

$$R_{\perp}(\theta) = \left[\frac{\sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta} - \sin \theta}{\sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta} + \sin \theta} \right]^2, \quad (2)$$

где θ – угол падения излучения, ε – диэлектрическая проницаемость второй среды (в нашей задаче – подстилающей поверхности атмосферы). В (1), (2) $R_{\Pi}(\theta)$ и $R_{\perp}(\theta)$ являются коэффициентами отражения для горизонтальной и вертикальной составляющих поляризации.

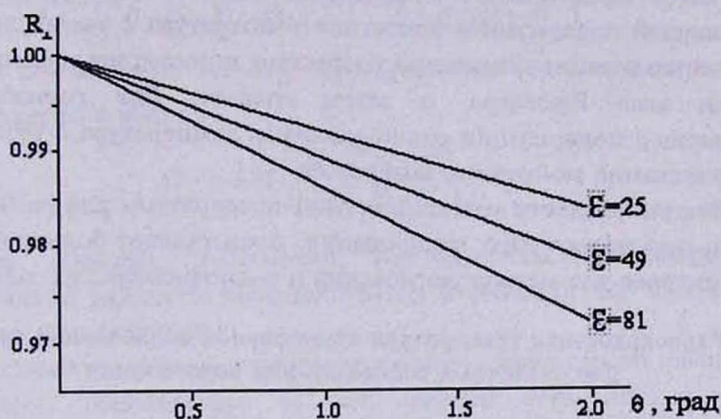


Рис.1. Зависимость коэффициента отражения $R_{\perp}$ от угла θ .

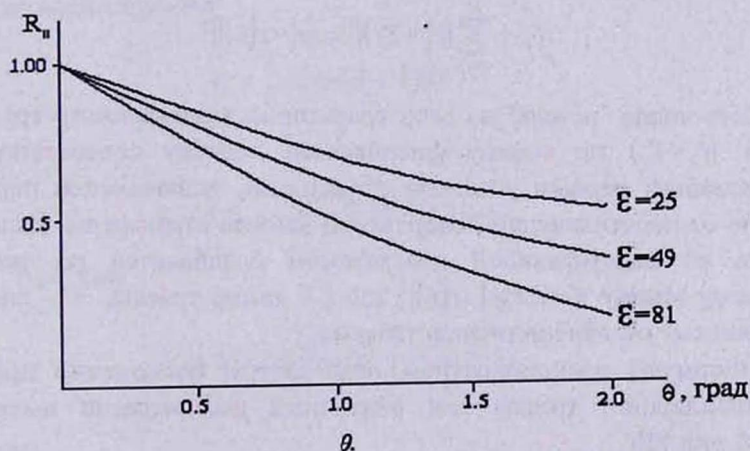


Рис.2. Зависимость коэффициента отражения R_{Π} от угла θ .

На рис.1,2 представлены угловые зависимости $R_{\perp}(\theta)$ и $R_{\parallel}(\theta)$, полученные для малых углов визирования $\theta \leq 2^\circ$. Расчеты проводились для различных значений диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности.

Из анализа представленных графиков можно сделать следующие выводы для коэффициентов отражения гладких поверхностей в СВЧ диапазоне радиоволн. Ортогональная компонента излучения при малых углах ($\theta \leq 2^\circ$) практически полностью отражается ($0.97 < R_{\perp} < 1$), причем, чем больше ε , тем $R_{\perp}$ более близок к единице. Вместе с тем, параллельная компонента $R_{\parallel}(\theta)$ очень чувствительна к углу визирования θ . При углах $0^\circ \leq \theta \leq 2^\circ$ $R_{\parallel}$ может снижаться от 1 до 0,23. Укажем, что зависимость радиояркостной температуры от вида поляризации принимаемого сигнала для широких диапазонов углов визирования может быть представлена следующим образом: для ортогональной составляющей поляризации яркостная температура с увеличением угла визирования вначале монотонно возрастает и достигает максимума при значении угла Брюстера, а затем спадает. Для горизонтальной составляющей поляризации радиояркостная температура с увеличением угла визирования монотонно возрастает.

Знание разности радиояркостной температуры для разных поляризаций, при малых углах визирования, представляет большой практический интерес для метеорологических и радиофизических задач [6].

3. Радиояркостная температура атмосферной волноводной трассы для различных составляющих поляризации

Выражение для радиояркостной температуры в случае сверхрефракции имеет вид[2]

$$T_{\text{я}} = \sum_{p=1}^N (T_1 + T_2) \{ \text{Re } \exp[-\tau(L)] \}^p, \quad (3)$$

где N есть число "петель" на всей траектории волноводного тракта. Величина $(T_1 + T_2)$ по своему физическому смыслу соответствует T_R , обусловленной первым участком траектории, включающей первое отражение от подстилающей поверхности земной атмосферы. Вклад в излучение от подстилающей поверхности ослабляется по экспоненциальному закону $\xi = R \exp[-\tau(L)]$, где L — длина трассы, τ — линейный коэффициент ослабления вдоль трассы.

Формулы радиояркостной температуры бесконечно протяженной волноводной трассы для различных поляризаций имеют следующий вид [2]:

$$T_{*II} = [T_1 + (1 - R_{II})T_n\xi] \frac{1}{1 - \xi R_{II}}, \quad (4)$$

$$T_{*I} = [T_1 + (1 - R_I)T_n\xi] \frac{1}{1 - \xi R_I}, \quad (5)$$

где введено обозначение $\xi = R \exp[-\tau(L)]$.

Разность яркостных температур от обеих составляющих поляризации ($\Delta T_* = T_{*II} - T_{*I}$) для уходящего излучения составит

$$\Delta T_* = T_1 \left[\frac{1}{(1 - \xi R_{II})} - \frac{1}{(1 - \xi R_I)} \right] + T_n \xi \left[\frac{1 - R_{II}}{(1 - \xi R_{II})} - \frac{1}{(1 - \xi R_I)} \right] \quad (6)$$

или

$$\Delta T_* = T_1 \xi \frac{R_{II} - R_I}{(1 - \xi R_{II})(1 - \xi R_I)} + T_n \xi \frac{R_I(1 - \xi) - R_{II}(1 - \xi)}{(1 - \xi R_{II})(1 - \xi R_I)}. \quad (7)$$

Введя обозначение $\Delta R = R_{II} - R_I$, последнее соотношение может быть представлено в виде

$$\Delta T_* = \Delta R \xi \frac{T_1 - T_n(1 - \xi)}{(1 - \xi R_{II})(1 - \xi R_I)}. \quad (8)$$

Таким образом, изменение радиояркостной температуры пропорционально разности коэффициентов отражения ΔR для обеих составляющих поляризации.

Представляет интерес также получение зависимости разности радиояркостной температуры ΔT от средней термодинамической температуры атмосферы и температуры подстилающей поверхности T_n .

Если ввести понятие средней температуры атмосферы по трассе, исходя из соотношений

$$T_1 = \int_0^L T(l) \exp[-\tau(l)] dl \quad (9)$$

и

$$T_1 = \bar{T}_a \{1 - \exp[-\tau(L)]\} = \bar{T}_a(1 - \xi), \quad (10)$$

то для ΔT_* получим

$$T_* = \Delta R \xi \left[\frac{\bar{T}_a(1 - \xi) - T_n(1 - \xi)}{(1 - \xi R_{II})(1 - \xi R_I)} \right], \quad (11)$$

откуда имеем

$$\Delta T_{\text{я}} = \frac{\Delta R(\bar{T}_a - T_1)\xi(1-\xi)}{(1-\xi R_{\text{II}})(1-\xi R_{\perp})}. \quad (12)$$

Как видно из (12), $\Delta T_{\text{я}}$ пропорциональна не только ΔR_1 , но и разности термодинамических температур атмосферы и ее подстилающей поверхности. При переключении плоскости поляризации антенны для случая, когда средние температуры атмосферы и подстилающей поверхности равны ($\bar{T}_a = \bar{T}_{\text{II}}$), радиояростная температура не меняется.

При фиксированном значении разности температур $\bar{T}_a - \bar{T}_{\text{II}}$ величина $\Delta T_{\text{я}}$ зависит только от ξ , где

$$\xi = \exp \left[-2 \int_0^{H_{\text{max}}} \tau(h) \frac{dh}{\sin(\theta_1 h)} \right]. \quad (13)$$

Из (12) следует, что при малых ослаблениях ($\xi=0$) и при сильных ослаблениях ($\xi=1$) разность $\Delta T_{\text{я}} \rightarrow 0$. Кроме того, существует экстремум множителя

$$\frac{\xi(1-\xi)}{(1-\xi R_{\text{II}})(1-\xi R_{\perp})}. \quad (14)$$

Учитывая то, что $R_{\perp}$ при малых углах визирования близок к единице, выражение для $\Delta T_{\text{я}}$ можно упростить и записать в следующем виде:

$$\Delta T_{\text{я}} = \Delta R(\bar{T}_a - \bar{T}_{\text{II}}) \frac{\xi}{(1-\xi R_{\text{II}})}. \quad (15)$$

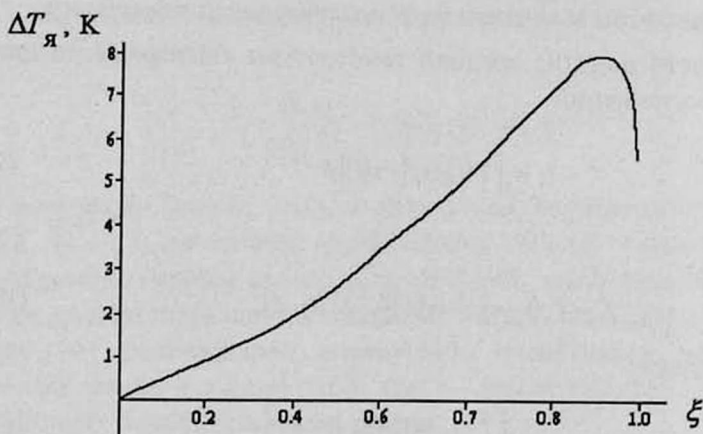


Рис.3. Зависимость изменения яркостной температуры $T_{\text{II}} - T_{\perp}$ при изменении поляризации регистрируемого излучения от параметра ξ , при угле $\theta = 1^\circ$, $\varepsilon = 81$, $\bar{T}_a - \bar{T}_{\text{II}} = 10\text{K}$.

На рис.3 представлена зависимость $\Delta T_{\text{ж}}$ от ξ при $\theta=1^\circ$, $\varepsilon=81$, $\bar{T}_a - \bar{T}_n = 10$ К. В этих случаях, как следует из рис.1 и 2, $R_{\text{II}}=0,53$, а $R_{\text{I}}=0,992$. Кривые, представленные на этих рисунках, показывают, что наибольшие значения $\Delta T_{\text{ж}}$ достигают при относительно слабом затухании.

В заключение отметим, что определяя вариации радиояростной температуры при различных поляризациях, при условии волноводного распространения, можно оперативно получить информацию о радиосостоянии атмосферы.

Отметим также, что горизонтальная составляющая поляризации "чувствует" температуру подстилающей поверхности, а ортогональная – температуру атмосферы.

Авторы выражают признательность проф. О.С.Ерицяну за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.П.Баберцяи, Ж.Б.Хачатрян. Изв. НАН Армении, Физика, 29, 178 (1994).
2. Ж.Б.Хачатрян, В.Б.Гарибян. Изв. НАН Армении, Физика, 31, 170 (1996).
3. Ю.И.Рабинович, Г.К.Шукин, В.Г.Волков, Л.Н.Куренко. Труды ГГО, вып.325, с.72-79 (1970).
4. И.В.Андреев, Ю.А.Мельник, А.В. Рыжков и др. Труды ГГО, вып.470, с.91-99 (1982).
5. Г.К.Шукин, Л.П.Бобылев. В трудах Конф. радиофизических исследований атмосферы. Л., Гидрометиздат, с. 170-171, 1977.
6. К.П.Гайкевич, А.П.Наумов. Радиотехника и электроника, XXV, вып.1, 168 (1979).

ԳՐՀ ՈԱԴԻՈԱԼԻԶԱԿԱՆ ՈԱԴԻՈՐԱԴԻԱԿԱՆ ՋԵՐՍԼՈՍԻՏԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐՄԱՍԻՏԵՏՈՒԹՅԱՆ ԱՉԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԹՆՈԼՈՐՏԻ ԳԵՐԲԵԿՍԱՆ ԴԵՊԸՈՒՄ

Ժ. Բ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Ա. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ

Հաշվարկված է ռադիոլայծառության ջերմաստիճանի ուղղաձիգ և հորիզոնական բևեռացմամբ բաղադրիչների տարբերության կախումը դիտման անկյունից: Ցույց է տրված, որ որոշակի պայմանների դեպքում ռադիոլայծառության ջերմաստիճանների տարբերությունը առավելագույնն է և համեմատական է գետնամերձ շերտի և մթնոլորտի թերմոդինամիկական ջերմաստիճանների տարբերությանը:

INFLUENCE OF POLARIZATION ON THE MW RADIOWAVES TEMPERATURE RADIOLUMINOSITY AT THE SUPERREFRACTION OF THE ATMOSPHERE

J.B. KHACHATRYAN, S.A. MKHITARIAN

Calculations of the angular dependence of the difference in the radioluminosity temperature for the vertical and horizontal components of the polarization vector are carried out. It is shown that under certain conditions the radioluminosity temperatures difference has a maximum and the latter is proportional to the thermodynamic temperatures difference of the near-ground layer and atmosphere.