

ВЛИЯНИЕ ПЕРИСКОПИЧНОСТИ СИСТЕМЫ ОБЛУЧЕНИЯ НА ШУМОВУЮ ТЕМПЕРАТУРУ АНТЕННЫ ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ

В. М. Спитковский

Приводится методика расчета составляющей шумовой температуры антенны переменного профиля, обусловленной перископичностью системы отражатель — вторичное зеркало, для одного из возможных законов распределения амплитуды поля на апертуре вторичного зеркала. Показано, как зависит перископическая составляющая шумовой температуры от отражающих свойств подстилающей поверхности за главным зеркалом антенны. Сравнение результатов расчета с данными эксперимента для длины волны 3.2 см подтверждает пригодность принятой методики для расчетов перископической составляющей шумовой температуры антенны переменного профиля в сантиметровом диапазоне длин волн.

A technique for calculating the noise temperature component of a variable profile antenna due to the system reflector—secondary mirror being periscopic is presented for one of the possible laws of the field amplitude distribution over the secondary mirror aperture. It is shown how the periscopic component of the noise temperature depends on the reflecting properties of the underlying surface behind the main mirror. A comparison of our calculations with experimental data at 3.2 cm supports the suitability of the accepted technique for calculating the periscopic component of the noise temperature of a variable profile antenna in the centimeter-wavelength range.

Характерной особенностью конструкции остронаправленных антенных систем современных радиотелескопов (таких как антенна Крауса в США [1], радиотелескоп в Нансэ во Франции [2], Большой пулковский радиотелескоп (БПР) [3] и строящийся радиотелескоп РАТАН-600 [4] в Советском Союзе) является существенное преобладание горизонтального размера главного зеркала над вертикальным. Из-за этого систему отражатель переменного профиля (главное зеркало)—излучатель (вторичное зеркало) у таких антенн приходится делать перископической. При этом имеет место переоблучение отражающих элементов главного зеркала вдоль вертикальной координаты.

Переоблучение главного зеркала по вертикали приводит к появлению специфической для данного типа антенн составляющей шумовой температуры T_n . Величину T_n можно оценить [5], если известен к. п. д. передачи перископической системы η

$$T_n = (1 - \eta) T_0, \quad (1)$$

где T_0 — яркостная температуры фона, на который проектируется главное зеркало. Расчет величины η был выполнен в [5] для модели, взятой вместо реальной перископической системы антенны переменного профиля (АПП) (рис. 1). Модель представляла собой бесконечно протяженный в горизонтальном направлении излучатель высотой b с постоянной амплитудой поля на раскрыве и плоский бесконечно протяженный отражатель

размером a_0 , наклоненный под углом $h/2$ к вертикали (h — угол места наблюдаемого радиосточника).

Используя результаты работ [6, 7], в которых подробно исследован характер распределения облучения по полю и мощности на вторичном зеркале (параболическом полуцилиндре) БПР, и отказываясь от принятого в [5] допущения о постоянстве амплитуды поля на раскрыве излучателя, можно более точно рассчитать величину T_{Π} для существующих систем АПП. Для этого, следуя обычно применяемой методике расчета к. п. д. передачи η [5, 8—10], воспользуемся выражением

$$\eta = \frac{\int_{-a/2}^{+a/2} |E_a|^2 dy_a}{\int_{-b/2}^{+b/2} |E_b|^2 dy_b}, \quad (2)$$

где E_b — распределение поля на раскрыве излучателя, E_a — распределение поля вдоль вертикального сечения отражателя,

$$E_a = A \int_{-b/2}^{+b/2} E_b e^{-j\pi(y_b - y_a)^2 / 2\lambda d} dy_b, \quad (3)$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{\lambda d}} e^{j\pi\left(\frac{1}{4} - \frac{2d}{\lambda}\right)}.$$

Остальные обозначения см. на рис. 1.

Распределение амплитуды поля на раскрыве излучателя БПР может быть аппроксимировано плоской кривой третьего порядка K_3 [11]. Для при-

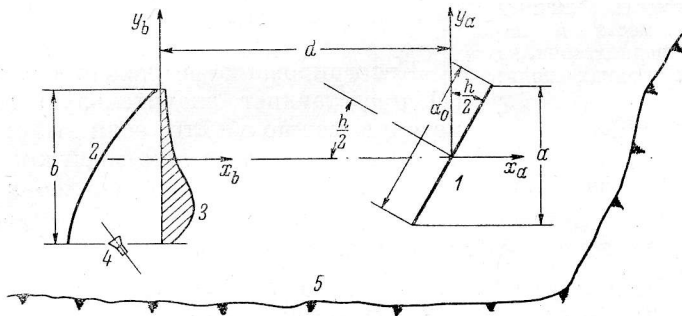


Рис. 1. Схема перископической системы антенны переменного профиля.

1 — плоский отражатель (отражающий элемент главного зеркала), 2 — параболический излучатель (вторичное зеркало), 3 — распределение амплитуды поля на раскрыве вторичного зеркала, 4 — облучатель, 5 — поверхность земли; a — величина проекции отражающего элемента на вертикаль, b — вертикальный размер излучателя, d — расстояние между излучателем и отражающим элементом; x_a, y_a и x_b, y_b — системы координат отражающего элемента и излучателя соответственно.

пятой схемы облучения АПП (излучатель — несимметричный параболический цилиндр с нижним расположением первичного облучателя) уравнение аппроксимирующей кривой записывается в виде [12, 13]

$$E_b = K_3 = \frac{1}{2y_b} \left[-\chi_1 + 2\left(\chi_2 y_b^4 + \chi_3 y_b^2 + \chi_4 y_b + \frac{1}{4} \chi_1^2\right)^{1/2} \right], \quad (4)$$

где $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$ — коэффициенты, постоянные для данного отражающего элемента главного зеркала АПП. Вид аппроксимирующей функции не зави-

сит от номера щита, а коэффициенты χ_i , вообще говоря, меняются и могут быть записаны в виде матрицы:

$$[\chi_{ij}] = \begin{vmatrix} \chi_{11} & \chi_{12} & \dots & \chi_{1N} \\ \chi_{21} & \chi_{22} & \dots & \chi_{2N} \\ \chi_{31} & \chi_{32} & \dots & \chi_{3N} \\ \chi_{41} & \chi_{42} & \dots & \chi_{4N} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

$$i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, N,$$

где N — число щитов в отражателе переменного профиля (главном зеркале АПП). Выражение (3) становится в этом случае функцией от матрицы (5) как параметра:

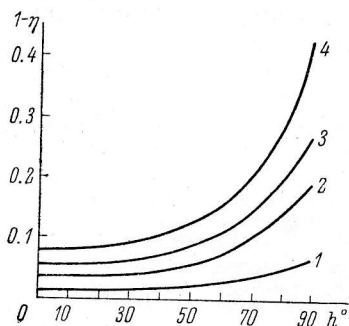


Рис. 2. Зависимость величины $1-\eta$ от угла места h наблюдаемого радиосточника на различных длинах волн. 1 — 0.8 см, 2 — 2 см, 3 — 3 см, 4 — 5 см.

$$E_a = A \int_{-b/2}^{+b/2} E_b(y_b, [\chi_{ij}]) e^{-j\pi \frac{(y_b - y_a)^2}{2\lambda d}} dy_b. \quad (6)$$

Принимая во внимание (4), (5) и (6), можно записать для к. п. д. передачи η перископической системы следующее выражение:

$$\eta \approx \frac{\sum_{j=1}^N \int_{-a/2}^{+a/2} \left| A \int_{-b/2}^{+b/2} K_3 e^{-j\pi \frac{(y_b - y_a)^2}{2\lambda d}} dy_b \right|^2 dy_a}{\sum_{j=1}^N \int_{-b/2}^{+b/2} |K_3|^2 dy_b}. \quad (7)$$

Интегрирование выражения для η в виде (7) представляет значительную трудность, которую можно обойти, если выбрать начало координат аппроксимирующей кривой таким образом, чтобы коэффициент $\chi_{1j} = 0$. Применяв разложение в тригонометрические ряды и используя только разложение по косинусам [14], получаем после довольно громоздких преобразований следующую формулу для η :

$$\eta \approx \left[4 \sum_{j=1}^N \left(\chi_{2j} \frac{b^3}{3} + \chi_{3j} \frac{b^2}{2} + \chi_{4j} \ln b \right) \right]^{-1} \sum_{j=1}^N \sum_{i=2, k=1}^{i=4, k=3} \chi_{ij} A_{0k} \int_0^q \{ C[U_0(1-y_b)] + C[U_0(1+y_b)] \}^2 + \{ S[U_0(1-y_b)] + S[U_0(1+y_b)] \}^2 dy_b, \quad (8)$$

где $q = a/b$, $U_0 = b/\sqrt{\lambda d}$ — параметры перископической системы, буквами C и S обозначены интегралы Френеля от соответствующих аргументов, A_{0k} — коэффициенты Фурье.

Результаты расчетов по формуле (8) для величины $1-\eta$ в зависимости от h представлены графически на рис. 2, а значения составляющей $T_{ш}$ шумовой температуры в градусах Кельвина для различных длин волн и углов места, рассчитанные по формуле (1), приведены в табл. 1. Вычисления по формуле (8) дают малую погрешность величины η при значениях параметра U_0 перископической антенной системы, больших единицы.

Приведенные в таблице данные представляют верхнюю границу значений составляющей $T_{ш}$ шумовой температуры АПП. Более точные значения $T_{ш}$ могут быть получены, если учесть отражающие свойства подстилающей поверхности за главным зеркалом антенны переменного профиля.

ТАБЛИЦА 1

Длина волны λ (см)	Угол места h (град.)					
	0	10	30	50	70	90
0.8	4	5	6	7	9	18
2.0	10	12	14	16	26	55
3.0	15	17	23	25	38	78
5.0	23	25	28	38	58	120

Электрические свойства земных покровов в диапазоне СВЧ подробно рассмотрены в [15, 16]. Для почвы, покрытой растительностью, в [17] приведены экспериментальные данные для значения коэффициента отражения подстилающей поверхности в интересующей нас части сантиметрового диапазона волн. Анализ этих экспериментальных данных, проведенный нами, показал, что для горизонтально и вертикально поляризованных волн, в случае, когда угол между направлением распространения излучения и поверхностью почвы близок к 45° (что имеет место для

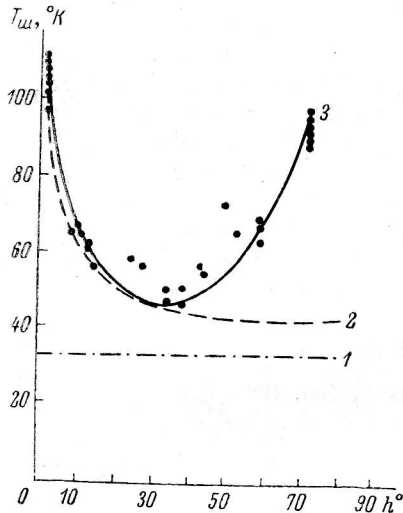


Рис. 3. Кривые зависимости полной шумовой температуры БПР и некоторых ее составляющих на длине волны 3.2 см от угла места.

1 — составляющая шумовой температуры, обусловленная шумами облучателя, 2 — суммарная кривая шумовой температуры (обусловленной шумами неба и шумами облучателя), 3 — кривая полной шумовой температуры БПР (по экспериментальным данным).

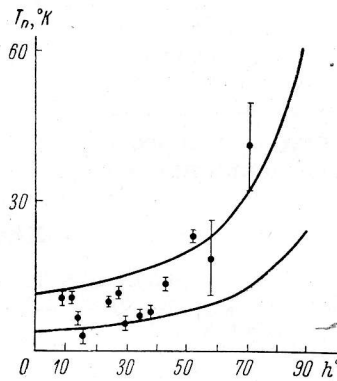


Рис. 4. Область значений составляющей шумовой температуры БПР, обусловленной перископичностью антенной системы.

БПР), значение коэффициента отражения лежит в пределах 0.3—0.5 для лета, и 0.55—0.75 для осени и влажной зимы. В табл. 2 приводятся рассчитанные нами значения $T_{ш}$ ($^{\circ}\text{K}$) для БПР в зависимости от условий отра-

жения радиоволн от подстилающей поверхности за главным зеркалом радиотелескопа.

Результаты расчета сравнивались автором статьи с данными эксперимента, проведенного А. А. Стоцким на длине волны 3.2 см на БПР. Экспериментальные данные редуцировались нами за шумовую температуру, обусловленную шумами неба и шумами облучателя. На рис. 3 штриховой линией показана суммарная кривая шумовой температуры, обусловленной шумами неба и шумами облучателя (шумы неба рассчитаны по формуле для $T_{атм}(h)$ из [18]). На этом же рисунке штрих-пунктирной линией показана отдельно составляющая шумовой температуры, обусловленная шу-

ТАБЛИЦА 2

Длина волны λ (см)	Сезон	Угол места h (град.)					
		0	10	30	50	70	90
0.8	Зима	3.0	3.6	4.0	5.5	8.8	14.0
	Лето	1.0	1.3	1.5	1.8	3.0	5.0
2.0	Зима	7.0	7.5	10.0	14.0	25.0	44.0
	Лето	2.5	3.1	3.5	5.0	10.0	17.0
3.0	Зима	11.0	13.5	15.0	21.0	33.0	60.0
	Лето	5.0	6.5	7.0	7.8	13.0	23.0
5.0	Зима	17.0	18.5	20.0	32.0	52.5	90.0
	Лето	8.0	9.5	10.0	12.5	20.0	33.0

мами облучателя, и сплошной линией — экспериментальная зависимость полной шумовой температуры БПР от угла места. На рис. 4 сплошными линиями показаны верхняя и нижняя границы области значений составляющей T_n шумовой температуры БПР, построенные с учетом коэффициента отражения радиоволн от подстилающей поверхности за главным зеркалом антенны. На этом же рисунке нанесены точки экспериментальные значения T_n , полученные упомянутой редукцией из данных измерений А. А. Стоцкого для полной шумовой температуры БПР на длине волны 3.2 см. Можно видеть, что имеет место достаточно хорошее соответствие результатов расчета с данными измерений.

В заключение автор выражает благодарность А. А. Стоцкому за предоставленную возможность воспользоваться экспериментальным материалом и неоднократные консультации во время написания статьи.

Литература

1. J. D. Kraus et al., IRE Trans., AP-9, Jan. 1961.
2. E. S. Blum et al., Proc. Instn. Radio Eng. Austr., 24, 208, Feb. 1963.
3. С. Э. Хайкин и др., Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 164, 3, 1960.
4. В. И. Иверонова и др., Усп. физ. наук, 97, вып. 2, 367, 1969.
5. А. А. Стоцкий, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 188, 1972 (в печати).
6. В. М. Спитковский, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1, 68, 1970.
7. В. Н. Боровик и др., Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 188, 1972 (в печати).
8. А. М. Покрас. Перископические антенны и беспроводные линии передачи. Связьиздат, 1963.
9. А. М. Покрас. Беспроводные линии передачи. «Связь», 1967.
10. Сканирующие антенны системы СВЧ. Пер. с англ., «Советское радио», 1968.
11. В. М. Спитковский. О возможности аппроксимации экспериментальных характеристик облучения отражающей поверхности главного зеркала антенны переменного профиля кривыми высших порядков. Тезисы докладов XX юбилейной конференции, посвященной 75-летию изобретения радио, Киев, 1970.
12. В. М. Спитковский, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 2, 159, 1970.
13. В. М. Спитковский, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 2, 168, 1970.
14. Э. Т. Уиттекер, Д. Н. Ватсон. Курс современного анализа, т. I, Физматгиз, 1963.
15. Л. Т. Тучков. Естественные шумовые излучения в радиоканалах. «Советское радио», 1968.
16. А. Е. Башарин и др. Измерение радиотепловых и плазменных излучений. «Советское радио», 1968.
17. Я. Л. Альперт. Распределение радиоволн и ионосфера. Изд. АН СССР, 1960.
18. А. А. Стоцкий, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 172, 137, 1964.

Декабрь 1969 г.