

КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОЩАДИ РАСКРЫВА АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ С ОТРАЖАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ

В. М. Спитковский

Выведена формула и вычислены значения коэффициента использования площади раскрыва антенны переменного профиля для длин волн 3.04, 3.2 и 4.5 см. В статье основное внимание уделено уточнению влияния геометрических факторов на эксплуатационные параметры больших антенн, что особенно важно при проектировании радиотелескопов высокой разрешающей силы, работающих в сантиметровом диапазоне.

The formula is deduced and the values of the efficiency factor of a variable profile antenna for the wavelengths 3.04, 3.2 and 4.5 cm are calculated. The paper focuses attention on the specification of the influence of geometric factors upon the operation parameters of large antennas, which is of a great importance for designing the radio telescopes of high resolving power operating on centimeter wavelengths.

Одной из важных характеристик зеркальных антенн является коэффициент использования площади раскрыва K_n . К этому параметру прибегают в связи с трудностями, возникающими при прямых вычислениях коэффициента направленного действия (КНД) антенны по формулам, известным из электродинамики [1, 2]. Введение K_n , который является не электродинамической, а геометрической характеристикой зеркальной антенны, во многих случаях позволяет упростить вычисления.

Рассмотрим кратко условия, при которых вводится в рассмотрение коэффициент использования площади зеркальной антенны.

Коэффициент направленного действия антенны с произвольной апертурой в направлении (θ, φ) выражается в общем случае через распределение поля по излучающему отверстию $F(\xi, \eta)$ следующим образом [1]:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\left| \int_S F(\xi, \eta) (\cos \theta + s_z) e^{jk \sin \theta (\xi \cos \varphi + \eta \sin \varphi)} d\xi d\eta \right|^2}{\lambda^2 \int_S |F(\xi, \eta)|^2 s_z d\xi d\eta}, \quad (1)$$

где ξ, η — координаты точки в плоскости выходного отверстия (апертуры) (см. рис. 1); λ — длина волны; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число; s_z — проекция единичного вектора, касательного к лучу, на направление распространения z ; S — площадь раскрыва.

Для парааксиальных пучков и постоянной фазы по выходному отверстию диаграмма направленности имеет максимум в направлении распро-

странения z ($\theta=0$), а $s_z=1$, поэтому максимальный КНД в этом случае будет равен

$$D_{\max} = \frac{4\pi \left| \int_S F(\xi, \eta) d\xi d\eta \right|^2}{\lambda^2 \int_S |F(\xi, \eta)|^2 d\xi d\eta}. \quad (2)$$

Если же амплитуда постоянна на апертуре, то из (2) следует

$$D_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} S = D_0, \quad F(\xi, \eta) = \text{const}. \quad (3)$$

Запись D_{\max} в форме (3) позволяет использовать для расчетов КНД некоторые геометрические характеристики антенны переменного профиля (АПП). Практически в антеннах отличие амплитудного распределения поля от равномерного учитывается коэффициентом η_A , который называется апертурным коэффициентом использования [2]. Потери на рассеяние характеризуют коэффициентом η_P и вычисляют КНД по формуле

$$D = D_0 \eta_A \eta_P = \frac{4\pi}{\lambda^2} S \eta_A \eta_P. \quad (4)$$

Величину $S \eta_A \eta_P$ принято называть эффективной площадью антенны $S_{\text{эфф}}$, а произведение $\eta_A \eta_P$ — коэффициентом использования площади раскрыва K_n ,

$$S_{\text{эфф}} = S \eta_A \eta_P = S K_n. \quad (5)$$

В обычных антеннах с жесткой конструкцией отражателя $S_{\text{эфф}}$ для данной длины волны и типа облучателя является величиной постоянной. Для антенны с отражателем переменного профиля, примером которой может служить Большой пулковский радиотелескоп (БПР) [3], характерно изменение всех трех сомножителей формулы (5) в зависимости от высоты наблюдаемого радиоисточника θ_0 . Эти величины не являются независимыми и связаны с изменением формы синфазного раскрыва от прямоугольной на горизонте ($\theta_0=0$) до кольцевой в зените ($\theta_0=90^\circ$) с радиусом кольца, равным радиусу исходной окружности (рис. 2). Второй существенной особенностью АПП, влияющей на K_n , является способ формирования веерообразного пучка для облучения главного зеркала. Для этого применяется система первичный облучатель—вторичное зеркало. В качестве вторичного зеркала используется параболический полуцилиндр. Диаграммы направленности применяемых в настоящее время первичных облучателей характеризуются существенным спадом амплитуды поля по обеим координатам. Для оптимизации облучения отражающего элемента (щита) по высоте первичный облучатель наклоняют под некоторым углом к горизонтальной плоскости, что влечет за собой появление резкой асимметрии в кривой распределения мощности (поля). На рис. 3 для примера приведены кривые распределения мощности облучения по высоте центрального отражающего элемента, полученные экспериментально на различных длинах волн ($a, б, в$), а также результаты расчета ($г$) для первичного облучателя с квадратным раскрывом (размером 23×23 мм на длине волны 3.04 см). Если асимметрию облучения щита по высоте характеризовать при заданном угле наклона первичного

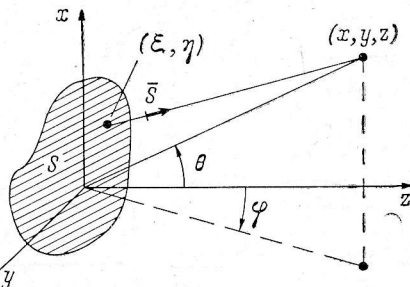


Рис. 1. Система координат выходного отверстия зеркальной антенны.

облучателя ζ отношением уровня мощности $P_\zeta(H)$ на верхней кромке щита к уровню мощности $P_\zeta(0)$ на нижней кромке

$$i_\zeta = \frac{P_\zeta(H)}{P_\zeta(0)}, \quad (6)$$

то при изменении угла ζ параметр асимметрии i_ζ меняется, как показано на рис. 4, где a — угол раскрыва вторичного зеркала. Характеристики

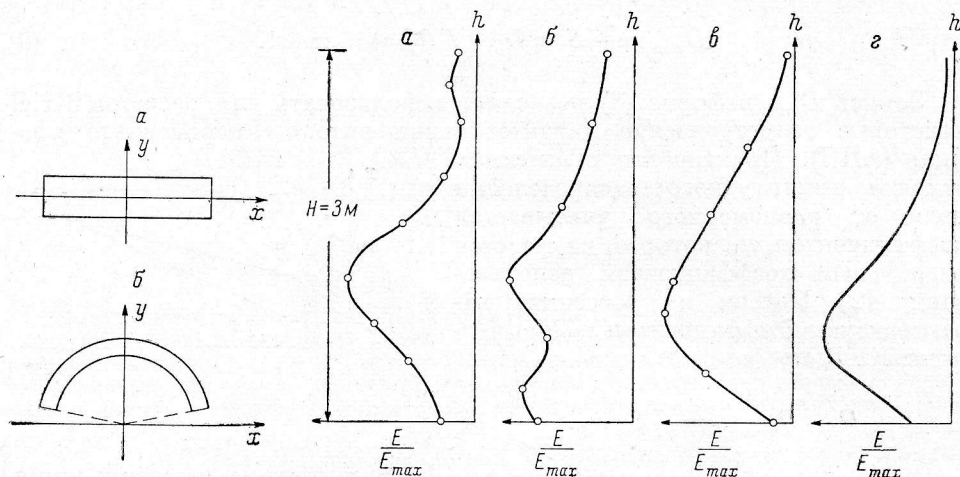


Рис. 2. Форма раскрыва антенны переменного профиля при наблюдении.

a — на горизонте ($\theta_0 = 0^\circ$), $б$ — в зените ($\theta_0 = 90^\circ$).

Рис. 3. Ход распределения облучения по мощности по высоте центрального отражающего элемента БПР.

$a, б, в$ — экспериментальные распределения на $\lambda = 4.5$ см, 3.2 см и 3.04 см соответственно, $г$ — расчет облучения по мощности для $\lambda = 3.04$ см.

облучения щита по вертикали, рассчитанные для первичного облучателя в виде открытого конца круглого волновода (диаграмма направленности которого приведена на рис. 5) для трех значений параметра асимметрии

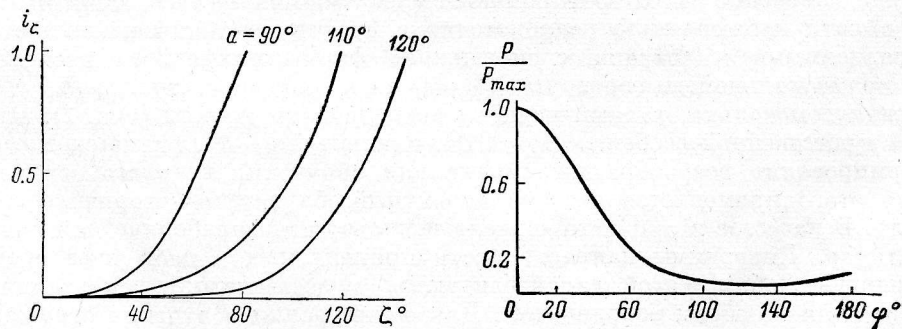


Рис. 4. Изменение параметра асимметрии облучения отражающего элемента по высоте в зависимости от угла наклона первичного облучателя к плоскости горизонта.

Рис. 5. Диаграмма направленности первичного облучателя в виде открытого конца круглого волновода. Тип волны H_{11} , E -плоскость.

(1.0, 0.5 и 0.25), показаны для соответствующих a и ζ на рис. 6 ($a, б, в$). Уровень облучения по мощности, равный единице по оси абсцисс, соответствует углу наклона первичного облучателя $\zeta = 0^\circ$.

Расчет характера облучения главного зеркала БПР приведен в [4], а методика измерения на длинах волн 3.03, 3.2 и 4.5 см описана в [5]. Результаты исследований распределения облучения по полю и по мощ-

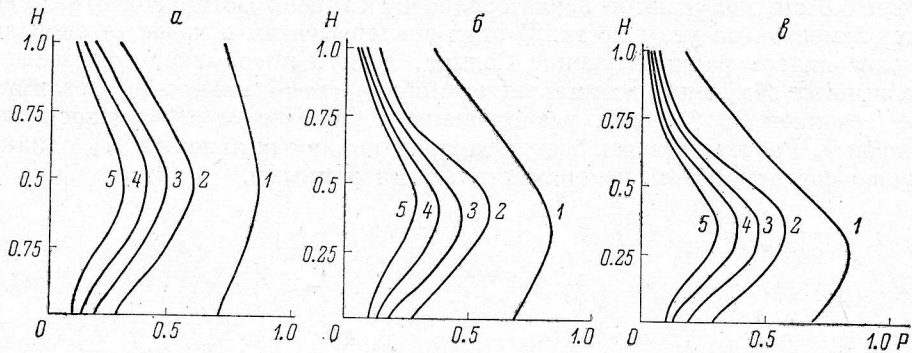


Рис. 6. Распределение облучения по мощности вдоль вертикального размера отражающего элемента для различных значений параметра асимметрии.

а — для $i_{\zeta}=1.0$; 1 — $\zeta=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$; 2 — $\zeta=60^\circ$, $\alpha=72^\circ$; 3 — $\zeta=70^\circ$, $\alpha=80^\circ$; 4 — $\zeta=80^\circ$, $\alpha=90^\circ$; 5 — $\zeta=90^\circ$, $\alpha=95^\circ$.
 б — для $i_{\zeta}=0.5$, 1 — $\zeta=30^\circ$, $\alpha=65^\circ$; 2 — $\zeta=60^\circ$, $\alpha=82^\circ$; 3 — $\zeta=70^\circ$, $\alpha=95^\circ$; 4 — $\zeta=80^\circ$, $\alpha=100^\circ$; 5 — $\zeta=90^\circ$, $\alpha=105^\circ$.
 в — для $i_{\zeta}=0.25$, 1 — $\zeta=30^\circ$, $\alpha=70^\circ$; 2 — $\zeta=60^\circ$, $\alpha=95^\circ$; 3 — $\zeta=70^\circ$, $\alpha=105^\circ$; 4 — $\zeta=80^\circ$, $\alpha=110^\circ$; 5 — $\zeta=90^\circ$, $\alpha=115^\circ$.

ности на отражателе БПР приведены на рис. 7. Данные рис. 7, а получены для длины волны 3.04 см после обработки измерений, проведенных при помощи шумового генератора. Для длин волн 3.2 и 4.5 см

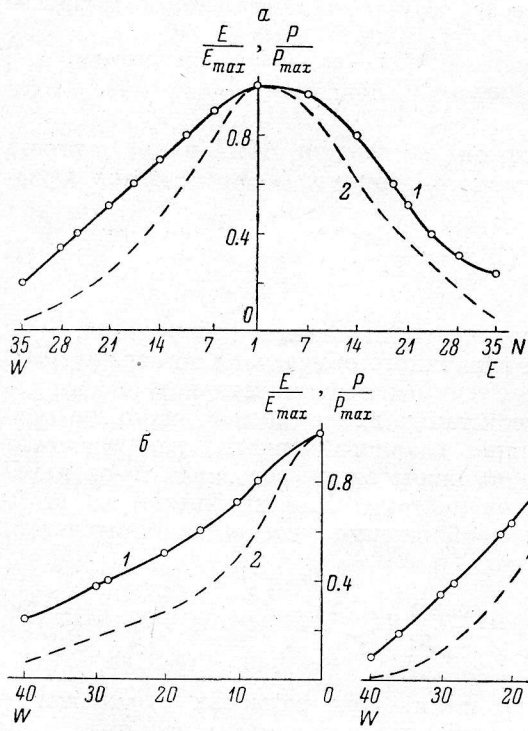


Рис. 7. Распределение облучения вдоль горизонтального размера АПП на различных длинах волн.

а — для $\lambda=3.04$ см; б — для $\lambda=3.2$ см; в — для $\lambda=4.5$ см. 1 — распределение облучения по полю; 2 — распределение облучения по мощности. W — западное крыло главного зеркала, E — восточное крыло главного зеркала.

(рис. 7, б и в) использованы результаты экспериментов с монохроматическим излучением клистронного генератора. В последнее время в Пулковке предложен и разработан радиоастрономический способ юстировки

АПП [6], который при дополнительной обработке данных [7] позволяет также получить картину распределения облучения по отражателю. На рис. 8 приведены характеристики облучения АПП для длин волн 3.04 и 6.6 см, полученные после обработки записей юстировок отражающих элементов по углу места. В этих экспериментах в качестве сигнала использовалось радиоизлучение Солнца. Рис. 9 показывает ход расчетных кривых облучения для первичного облучателя с квадратным раскрывом (сечением 23×23 мм), расположенного под углом 64° к плоскости горизонта. Расчет проведен без учета дифракционных явлений [4], однако хорошо согласуется с экспериментальными данными.

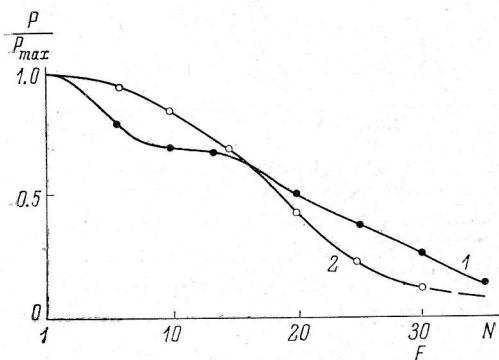


Рис. 8. Распределение облучения главного зеркала АПП по горизонтали, полученное по данным радиоастрономической юстировки отражающих элементов.

1 — $\lambda = 3.04$ см; 2 — $\lambda = 6.6$ см.

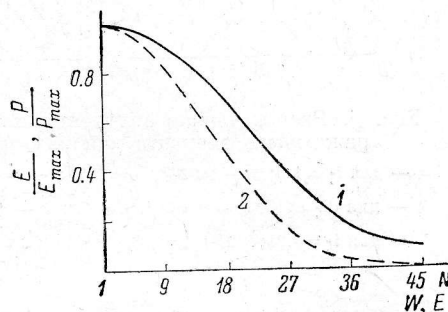


Рис. 9. Расчетные кривые облучения главного зеркала АПП для первичного облучателя с квадратным раскрывом (23×23 мм).

1 — по полю; 2 — по мощности.

В случае рассматриваемой системы облучения АПП напряженность поля E_S на расстоянии L до главного зеркала S определяется выражением [4]

$$E_S = F(\xi, \eta) = \frac{F(\varphi)}{Lp}. \quad (7)$$

Здесь $F(\varphi)$ — диаграмма направленности первичного облучателя, p — радиус-вектор из фазового центра первичного облучателя до отражающей поверхности вторичного зеркала. В силу непрерывности каждого из множителей в (7) облучающий пучок также непрерывен. Однако, по причине секционированной конструкции главного зеркала, распределение поля (мощности) по его апертуре не является непрерывным из-за наличия щелей между отражающими элементами. Влияние щелей на величину $S_{эфф}$ может быть в первом приближении учтено дополнительным коэффициентом рассеяния на щелях

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{S} \sum S_1, \quad (8)$$

где S_1 — геометрическая площадь щели. При размерах отражающего элемента БПР 1.50×3.00 м и средней ширине щели на раскрыве 5 см $\eta_{1БПР} = 0.97$. Введение коэффициента η_1 позволяет рассматривать в дальнейшем апертуру и распределение поля по ней $F(\xi, \eta)$ как непрерывные.

Апертурный коэффициент, применяемый для расчетов эффективной площади антенны и КНД, может быть вычислен по формуле

$$\eta_A = \frac{\int \int_S F(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\int \int_S F_{\max}(\xi, \eta) d\xi d\eta},$$

которая в случае, когда $F(\xi, \eta)$ нормирована к своему максимуму, может быть переписана следующим образом:

$$\eta_A = \frac{1}{S} \int \int_S \frac{F(\xi, \eta)}{F_{\max}(\xi, \eta)} d\xi d\eta. \quad (9)$$

В общем случае площадь раскрыва S для АПП есть функция от угла места наблюдения $S = S(\theta_0)$, так что имеем

$$\eta_A = \frac{1}{S(\theta_0)} \int \int_S F_0(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad (10)$$

$$F_0(\xi, \eta) = F(\xi, \eta) / F_{\max}(\xi, \eta).$$

Наиболее просто η_A вычисляется при наблюдениях на горизонте, что соответствует прямоугольной апертуре с площадью раскрыва

$$S(0) = B(0)H(0), \quad (11)$$

где H — высота отражающего элемента, а $B(0)$ — горизонтальный размер апертуры, который при постоянном числе щитов N отражателя, облучаемых по заданному уровню, равен

$$B_N = R \sin [\varepsilon_N (N - 0.5)], \quad N = \text{const}. \quad (12)$$

Здесь R — радиус исходной окружности, ε_N — угловые размеры щита из центра антенны.

При постоянном угле облучения главного зеркала φ_0 , обусловленном конструкцией системы первичный облучатель—вторичное зеркало, B определяется из выражения

$$B_\varphi = 2p \frac{\sin \varphi_0}{1 + \cos \varphi_0 \cos \theta_0}, \quad \varphi_0 = \text{const}, \quad (13)$$

где p — параметр линии центров отражающих элементов. Вообще говоря, B тоже зависит от угла θ_0 , однако максимальное изменение радиуса исходной окружности для всего диапазона рабочих углов отражателя не превышает 0.3%, и горизонтальный размер можно считать не зависящим от θ_0 [8].

Из (10)—(13) имеем для постоянного числа облучаемых элементов

$$\eta_A(0) = \frac{1}{RH \sin [\varepsilon_N (N - 0.5)]} \int \int_S F_0(\xi, \eta) d\xi d\eta. \quad (14)$$

Для постоянного угла облучения отражателя получим

$$\eta_A(0) = \frac{1 + \cos \varphi_0}{2pH \sin \varphi_0} \int \int_S F_0(\xi, \eta) d\xi d\eta. \quad (15)$$

Обозначим двойной интеграл в (14) и (15) через I . Легко показать, что в силу непрерывности $F_0(\xi, \eta)$ и при выполнении условия

$$F_0(\xi, \eta) = F_1(\xi)F_2(\eta) \quad (16)$$

можно записать

$$I = \iint_S F_0(\xi, \eta) d\xi d\eta = \int_0^H d\eta \int_{\xi_1(\eta)}^{\xi_2(\eta)} F_0(\xi, \eta) d\xi, \quad (17)$$

что, в свою очередь, эквивалентно выражению [9—11]

$$I = \int_{-A}^{+A} F_1(\xi) d\xi \int_0^H F_2(\eta) d\eta, \quad (18)$$

в котором $F_1(\xi)$ — функция распределения облучения вдоль горизонтального размера апертуры, $F_2(\eta)$ — распределение облучения по высоте отражающего элемента, а пределы интегрирования в первом сомножителе $|A| = \frac{B_N}{2}$ для постоянного числа щитов и $|A| = \frac{B_\varphi}{2}$ для постоянного угла облучения.

Итак, из (14) и (18) и из (15) и (18) получаем соответственно

$$\eta_A(0) = \frac{1}{HR \sin[\varepsilon_N(N-0.5)]} \int_{-A}^{+A} F_1(\xi) d\xi \int_0^H F_2(\eta) d\eta, \quad N = \text{const} \quad (19)$$

$$\eta_A(0) = \frac{1 + \cos \varphi_0}{2p \sin \varphi_0} \int_{-A}^{+A} F_1(\xi) d\xi \int_0^H F(\eta) d\eta, \quad \varphi_0 = \text{const}. \quad (20)$$

Выражения (19) и (20) для апертурного коэффициента использования могут быть записаны в виде

$$\eta_A(0) = \eta_B(0) \eta_H(0), \quad (21)$$

где

$$\eta_B(0) = \eta_{BN}(0) = \frac{1}{R \sin[\varepsilon_N(N-0.5)]} \int_{-A}^{+A} F_1(\xi) d\xi, \quad N = \text{const} \quad (22)$$

или

$$\eta_B(0) = \eta_{B\varphi}(0) = \frac{1 + \cos \varphi_0}{2p \sin \varphi_0} \int_{-A}^{+A} F_1(\xi) d\xi, \quad \varphi_0 = \text{const} \quad (23)$$

представляют собой одномерные апертурные коэффициенты использования горизонтального размера отражателя, рассчитанные для случая постоянного горизонтального размера антенны и постоянного угла облучения соответственно, а величина

$$\eta_H(0) = \frac{1}{H} \int_0^H F_2(\eta) d\eta \quad (24)$$

является одномерным апертурным коэффициентом использования вертикального размера отражателя. В общем виде двумерный апертурный коэффициент использования есть функция угла наблюдения, и для системы АПП коэффициент использования площади раскрыва K_n антенны запишется следующим образом:

$$K_n = \eta_A \eta_P = \eta_A(\theta_0) \eta_1 \eta_2 = \eta_B(\theta_0) \eta_H(\theta_0) \eta_1 \eta_2, \quad (25)$$

где η_1 определяется из (8), η_2 — потери на рассеяние за счет переоблучения верхнего и нижнего краев главного зеркала системой формирования веерообразного пучка. Значения коэффициента η_2 из [12] приведены в табл. 1. В этой же таблице приведены величины общего коэффициента рассеяния η_P на различных длинах волн.

ТАБЛИЦА 1

Источник данных	η_2	η_P
Эксперимент, $\lambda=3.04$ см	0.89 ± 0.02	0.85 ± 0.01
Эксперимент, $\lambda=3.2$ см	0.86 ± 0.02	0.84 ± 0.02
Эксперимент, $\lambda=4.5$ см	0.91 ± 0.01	0.88 ± 0.01
Расчет для $\lambda=3.04$ см	0.90 ± 0.01	0.87 ± 0.01

Величина $\eta_B(\theta_0)$ подробно исследована в [8] при предположении равномерного и косинусоидального характера облучения по координате ξ , и для нее получено следующее выражение:

$$\eta_B(\theta_0) = \frac{\left[\frac{\sin(\gamma-1)\varepsilon_0}{\gamma-1} + \frac{\sin(\gamma+1)\varepsilon_0}{\gamma+1} \right]^2}{2 \left(1 + \frac{\sin 2\gamma\varepsilon_0}{2\gamma\varepsilon_0} \right) \varepsilon_0^2}, \quad (26)$$

где γ — параметр облучения, равный нулю для равномерного и $\pi/2\varepsilon_0$ для косинусоидального облучения, ε_0 — зависимость угловой длины дуги в раскрыве от угла места θ_0 (рис. 10).

Для равномерного облучения по ξ из (26) получается

$$\eta_B(\varepsilon_0) = \eta_B(\theta_0) = \left(\frac{\sin \varepsilon_0}{\varepsilon_0} \right)^2, \quad (27)$$

а для косинусоидального

$$\eta_B(\varepsilon_0) = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_0\right)}{\frac{\pi}{2} - \varepsilon_0} + \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_0\right)}{\frac{\pi}{2} + \varepsilon_0} \right]. \quad (28)$$

В табл. 2 из [8] приведены необходимые для дальнейших расчетов значения коэффициентов использования η_{BN} и η_{BP} .

Считая, что выражение (28) достаточно хорошо аппроксимирует распределение облучения по ξ , можно записать теперь при помощи (25) формулу для коэффициента использования площади АПП

$$K_{\pi} = \eta_B(\varepsilon_0) \eta_P \frac{\int_0^{H(\theta_0)} F_2(\eta) d\eta}{H \cos \frac{\theta_0}{2}}. \quad (29)$$

С изменением угла места наблюдения величина $\eta_B(\theta_0)$ меняется незначительно, так как с уменьшением действующей высоты щита $H(\theta_0)$ одновременно меняется верхняя граница интегрирования, так что можно

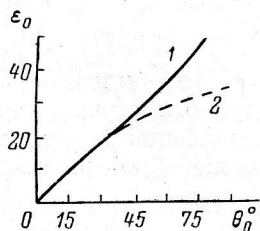


Рис. 10. Зависимость угловой длины дуги в раскрыве АПП от угла места.

1 — для постоянного горизонтального размера АПП; 2 — для постоянного угла облучения.

использовать приближенное равенство (для диапазона углов места на БПР)

$$\frac{1}{H} \int_0^H F_2(\eta) d\eta \approx \frac{1}{H \cos \frac{\theta_0}{2}} \int_0^{H(\theta_0)} F_2(\eta) d\eta. \quad (30)$$

Распределение облучения по высоте отражающего элемента $F_2(\eta)$ может быть с точностью до 1% аппроксимировано кривой третьего порядка [10]. Причем в зависимости от вида распределения уравнения

ТАБЛИЦА 2

θ_0	$\gamma = 0$		$\gamma_{\varepsilon_0} = \pi/2$	
	η_{BN}	$\eta_{B\varphi}$	η_{BN}	$\eta_{B\varphi}$
0°	1	1	0.81	0.81
30	0.96	0.96	0.79	0.79
45	0.94	0.92	0.77	0.76
60	0.90	0.85	0.76	0.74
90	0.87	0.69	0.75	0.71

ТАБЛИЦА 3

Длина волны (см)	4.5	3.2	3.04	3.04 (расчет)
η_H	0.48	0.62	0.55	0.47

кривых будут различными. Наиболее характерны следующие типы уравнений аппроксимирующих кривых:

$$F_2(\eta) = f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2x} \left(-e \pm 2 \sqrt{ax^4 + cx^2 + dx + \frac{e^2}{4}} \right), \\ \frac{1}{x} \sqrt{ax^4 + cx^2 + dx}, \\ \frac{1}{2x} \left(-e + 2 \sqrt{cx^2 + dx + \frac{e^2}{4}} \right). \end{cases} \quad (31)$$

Постоянные коэффициенты a , c , d , e находятся для каждого исследуемого случая по виду распределения (13)–(15). Учитывая (30) и (31), коэффициент использования площади антенны переменного профиля может быть записан следующим образом:

$$K_n = \frac{1}{2H} \eta_B(\varepsilon_0) \eta_P \int_0^H \left[\frac{1}{2x} \left(-e + 2 \sqrt{ax^4 + cx^2 + dx + \frac{e^2}{4}} \right) \right] dx. \quad (32)$$

В выражении (32) применена наиболее общая из форм аппроксимирующих функций из (31). В табл. 3 приведены вычисленные по аппроксимирующим формулам (31) с помощью [16] значения апертурного коэффициента η_H .

В процессе эксплуатации БПР на длинах волн от 2 см и более на источник устанавливаются практически все отражающие элементы антенны. Следовательно, горизонтальный размер антенны остается при этом неизменным. Вычисленный для этого случая коэффициент использования площади антенны при косинусоидальном спаде поля к краям апертуры приведен в табл. 4.

С увеличением угла места наблюдаемого источника облучение отражателя по горизонтальной координате улучшается [4], приближаясь к равномерному. Аналогичная картина получается также при наблюдениях только на центральной части БПР (порядка 30 щитов). Коэффициент использования площади при этом несколько улучшается (см. табл. 5, в которой приведен K_n для наблюдений на центральной части БПР).

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что при оценке величины коэффициента использования площади отражателя

ТАБЛИЦА 4

θ_0	$\lambda = 4.5$ см		$\lambda = 3.2$ см		$\lambda = 3.04$ см		$\lambda = 3.04$ см (расчет)	
	η_{AN}	K_{Π}	η_{AN}	K_{Π}	η_{AN}	K_{Π}	η_{AN}	K_{Π}
0°	0.390	0.350	0.500	0.420	0.440	0.380	0.380	0.340
30	0.380	0.340	0.490	0.410	0.440	0.370	0.370	0.330
45	0.370	0.330	0.480	0.400	0.430	0.360	0.360	0.325
60	0.365	0.325	0.470	0.395	0.420	0.355	0.355	0.320
90	0.360	0.320	0.465	0.390	0.410	0.350	0.350	0.315

переменного профиля нельзя пренебрегать отличием распределения поля по высоте отражающего элемента от равномерного. В статье приведены расчетные формулы, учитывающие особенности распределения, обусловленные принятой на БПР схемой облучения отражателя (вторичное зеркало в виде параболического полуцилиндра и первичный облучатель, расположенный под углом к плоскости горизонта). При этом ход кривых распределения поля по высоте щита имеет существенную асимметрию со смещением максимума амплитуды примерно на нижнюю треть отражающего элемента и малой величиной поля у верхней кромки.

Значения коэффициента использования площади АПП, полученные с учетом указанных особенностей, оказались меньше рассчитанных в [8], причем максимальное расхождение достигает (при косинусоидальном характере облучения по горизонтальной координате) 34%.

Коэффициент использования площади раскрыва АПП может быть улучшен оптимизацией конструкции вторичного зеркала (применением вместо полуцилиндра несимметричного параболического цилиндра в сочетании с небольшими углами наклона первичного облучателя). Другой путь улучшения коэффициента использования площади раскрыва АПП — разработка диаграмм направленности первичных облучателей специальной формы. Однако в обоих случаях следует помнить, что любые способы устранения дополнительных потерь не должны лишать принятую схему облучения АПП ее преимуществ, а именно: удобства расположения радиометров, коротких трактов первичных облучателей, малых габаритов облучателей.

Автор выражает благодарность Ю. Н. Парийскому за полезные советы, высказанные им при редактировании рукописи.

Литература

1. Антенны сантиметровых волн. Под ред. Я. Н. Фельда, изд. «Советское радио», 1950.
2. Современные проблемы антенно-волноводной техники. Под ред. А. А. Пистолькорса, изд. «Наука», 1967.
3. С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Н. А. Есепкина, О. Н. Шиврис. Изв. Гл. астрон. obs. в Пулкове, XXI, № 164, 3, 1960.
4. В. М. Спитковский, Астрофиз. issl. (Изв. САО), 1, 68, 1969.
5. В. Н. Боровики др., Изв. Гл. астрон. obs. в Пулкове, № 187 (в печати).
6. Г. Б. Гельфрейх, Изв. Гл. астрон. obs. в Пулкове, № 187 (в печати).
7. Г. Б. Гельфрейх, В. М. Спитковский, Астрофиз. issl. (Изв. САО), 1, 82, 1969.

8. Н. А. Есепкина, Н. Л. Кайдановский, Б. Г. Кузнецов, Г. В. Кузнецова, С. Э. Хайкин, Радиотехника и электроника, № 12, 1947, 1961.
9. Б. М. Будак, С. В. Фомин. Кратные интегралы и ряды. Изд. «Наука», 1965.
10. В. М. Спитковский, наст. сборник, стр. 159.
11. Г. М. Фихтенгольц, И. П. Натансон. Криволинейные и кратные интегралы. ОНТИ, 1937.
12. В. М. Спитковский, Изв. Гл. astron. obs. в Пулкове, № 187 (в печати).
13. А. Уорсинг, Д. Геффнер. Методы обработки экспериментальных данных. ИЛ, 1955.
14. К. А. Семендяев. Эмпирические формулы. ГТТИ, 1933.
15. К. Ланцош. Практические методы прикладного анализа. Физматгиз, 1961.
16. В. М. Беляков и др. Таблицы эллиптических интегралов, т. II. Изд. АН СССР, 1962.

Декабрь 1968 г.
