

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ
НА РАСКРЫВЕ ОБЛУЧАТЕЛЯ
НА ПАРАМЕТРЫ ПЕРИСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
АНТЕННЫ ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ**

Е. К. Майорова, А. А. Стоцкий

Приводятся расчеты характеристик перископической системы антенны переменного профиля при разных видах распределения поля на раскрыве облучателя. Рассматривается влияние формы амплитудного распределения при неизменном уровне облучения края раскрыва и влияние квадратичного фазового набега на раскрыве.

The calculations of characteristics of variable profile antenna periscope system in dependence on different kind of the field distribution on the aperture of feed are given. The influence of an amplitude distribution shape with the constant level on the edge of the aperture and the influence of the square-law phase distribution on the aperture are considered.

1. В работе [1] были рассчитаны основные характеристики перископической системы антенны переменного профиля при синфазном поле на раскрыве облучателя при косинусоидальном амплитудном распределении. В частности, было показано, что предпочтительными являются распределения с уровнем поля на краю раскрыва менее -10 дБ. Настоящая работа является продолжением этих расчетов. Здесь мы рассмотрим влияние на параметры перископической системы формы амплитудного спадающего распределения при неизменном уровне поля на краю, а также

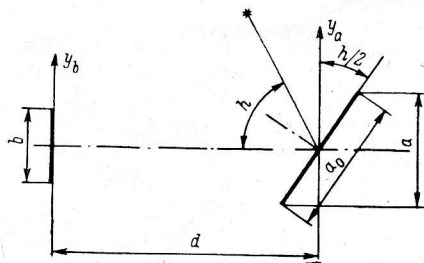


Рис. 1.

влияние квадратичного фазового набега на раскрыве, который легко может быть получен при фокусировке облучателя.

Как и ранее, в качестве модели перископической системы антенны переменного профиля мы будем рассматривать упрощенную двумерную модель (рис. 1), состоящую из облучателя высотой b и отражателя a_0 , расположенного на расстоянии d от облучателя. Отражатель наклонен на угол $h/2$, где h — угол места наблюдаемого источника, так что входной и выходной раскрывы отражателя имеют размер $a = a_0 \cos(h/2)$. При расчетах удобно пользоваться безразмерными параметрами $q = a/b$ и $u^2 = b^2/4\lambda d$, где λ — длина волны.

Основными параметрами перископической системы являются: коэффициент использования вертикального размера отражателя

$$\eta_a = \left| \int_{-a/2}^{a/2} E_a(y_a) dy_a \right|^2 \left/ \int_{-b/2}^{b/2} |E_b(y_b)|^2 dy_b \right.$$

и кпд перископической системы

$$\eta_{\pi} = \int_{-a/2}^{a/2} |E_a(y_a)|^2 dy_a \left/ \int_{-b/2}^{b/2} |E_b(y_b)|^2 dy_b \right.$$

где $E_a(y_a)$ — комплексное поле на раскрыве отражателя; $E_b(y_b)$ — заданное поле на раскрыве облучателя.

Величина η_a определяет эффективный размер отражателя $a_{\text{эф}} = \cos(h/2) \times \eta_a a$, а η_{π} — значение избыточной шумовой температуры T_{π} , обусловленной переоблучением главного зеркала,

$$T_{\pi} = (1 - \eta_{\pi}) T_0.$$

где T_0 — яркостная температура фона за главным зеркалом.

Вычисление $E_a(y_a)$, как и в [1], будем производить на основе скалярного интеграла Кирхгофа в приближении дифракции Френеля.

2. Для исследования влияния на характеристики перископической системы формы амплитудного распределения зададим распределение поля на раскрыве облучателя в виде

$$E_b(y_b) = E_0 \cos^n \left(\frac{\pi m}{2} \frac{2y_b}{b} \right).$$

Величина поля на краю раскрыва равна

$$p = \frac{E_b(b/2)}{E_0} = \cos^n \left(\frac{\pi m}{2} \right).$$

Мы будем рассматривать влияние формы амплитудного распределения при неизменном уровне поля на краю раскрыва облучателя p , т. е. при $m = \frac{2}{\pi} \arccos \sqrt{p}$. Тогда параметром, характеризующим форму амплитудного распределения, будет показатель степени n .

Результаты расчета зависимостей характеристик перископической системы η_a от n приведены на рис. 2. Видно, что при $p \geq 0.3$ изменение формы амплитудного распределения поля практически не влияет на характеристики перископической системы. При меньших уровнях облучения края раскрыва предпочтительными являются меньшие величины n , т. е. более «столообразные» распределения.

3. Для исследования влияния на характеристики перископической системы квадратичного фазового набега зададим поле на раскрыве облучателя в виде

$$E_b(y_b) = E_0 \exp \left(j\Phi \left(\frac{2y_b}{b} \right)^2 \left(\cos \left(0.4\pi \left(\frac{2y_b}{b} + 0.2 \right) \right) \right) \right).$$

Амплитудный множитель в этом выражении хорошо аппроксимирует распределение поля на раскрыве облучателя радиотелескопа РАТАН-600 [2].

В зависимости от знака коэффициента Φ меняется характер работы перископической системы: $\Phi < 0$ — происходит «подфокусировка лучей», $\Phi > 0$ — происходит «расфокусировка лучей». В первом случае ($\Phi < 0$) возможно увеличение кпд перископической системы η_{π} , а следовательно, и уменьшение шумовой температуры радиотелескопа вследствие уменьшения переоблучения отражателя. Но при этом может уменьшиться

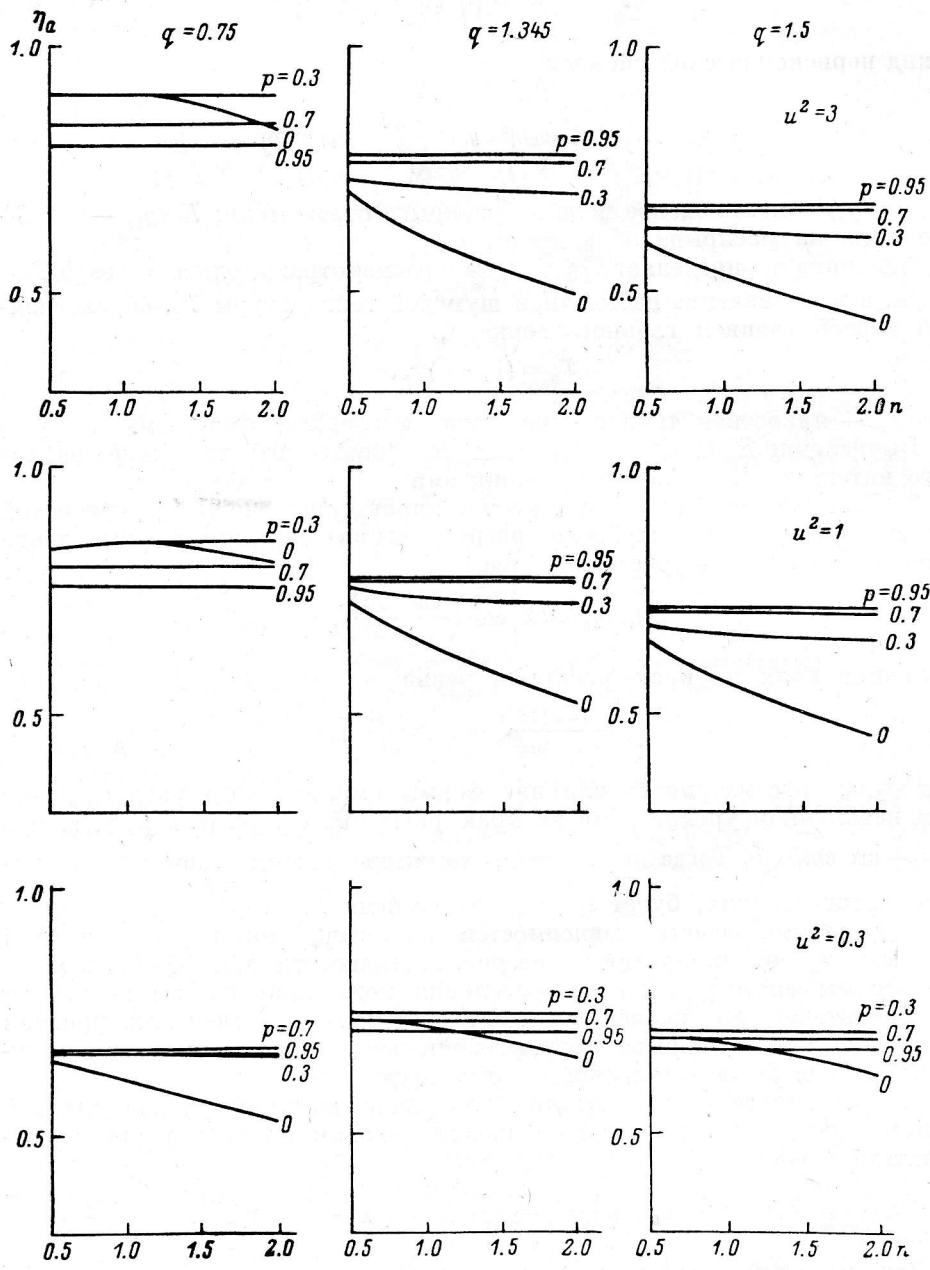


Рис. 2.

коэффициент использования вертикального размера отражателя η_a , а следовательно, и эффективная площадь радиотелескопа. В зависимости от того, какой фактор будет превалировать, мы можем получить как увеличение, так и уменьшение величины отношения эффективной площади к шумовой температуре радиотелескопа ($a_{эф}/T_m$), являющегося важнейшей характеристикой антенны.

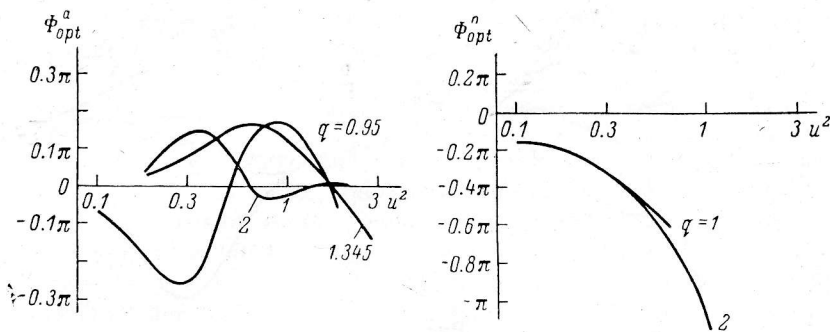


Рис. 3.

Что касается второго случая ($\Phi > 0$), то здесь может быть получен выигрыш в эффективной площади за счет увеличения коэффициента использования вертикального размера отражателя η_a вследствие более равномерного амплитудного распределения на его раскрыве. Однако η_n всегда будет меньше, чем при $\Phi=0$, а следовательно, шумовая температура радиотелескопа — выше.

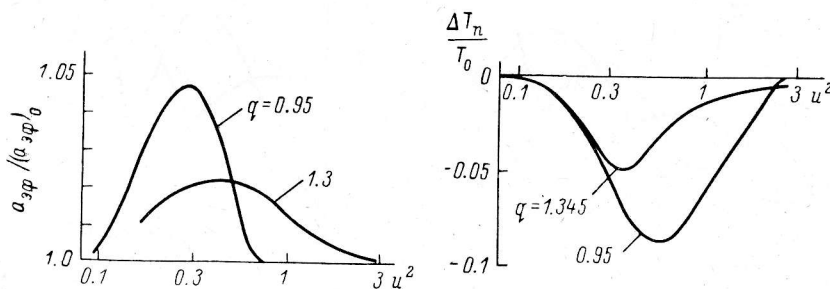


Рис. 4.

Для количественных оценок этих эффектов были рассчитаны зависимости η_a , η_n от Φ при разных значениях параметров q и u^2 . Эти расчеты показали, что существуют оптимальные значения параметра Φ , при которых величины η_a , η_n и $a_{эф}/T_m$ достигают максимума при заданных значениях q и u^2 .

Будем различать три типа оптимальных значений Φ :

- Φ_{opt}^a — такое значение параметра Φ , при котором $a_{эф}$, а следовательно, и эффективная площадь радиотелескопа максимальны;
- Φ_{opt}^n — такое значение Φ , при котором максимален η_n , а следовательно, минимальна шумовая температура T_m ;
- Φ_{opt} — такое значение Φ , при котором максимальна величина отношения $a_{эф}/T_m$.

На рис. 3 приведены полученные в результате расчетов значения Φ_{opt}^a и Φ_{opt}^n . Видно, что Φ_{opt}^a может принимать как положительные, так и отрицательные значения, причем ее зависимость от u^2 и q носит довольно сложный характер. Φ_{opt}^n лежит только в отрицательной области, ее за-

висимость от u^2 носит монотонный характер, а зависимость от q очень слабая.

Представляет интерес количественно оценить относительное увеличение эффективной площади радиотелескопа $a_{эф}/(a_{эф})_{\Phi=0}$ и уменьшение избыточной шумовой температуры антенны $\Delta T_{ш}/T_0 = \eta_{ш}(0) - \eta_{ш}(\Phi_{opt}^a)$ при введении оптимального фазового набега Φ_{opt}^a и Φ_{opt}^u по сравнению с синфаз-

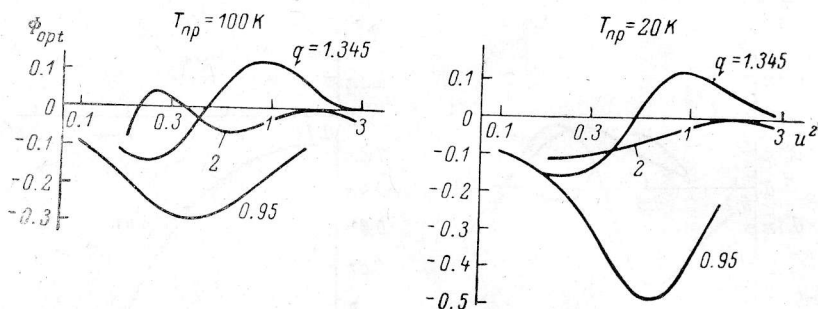


Рис. 5.

ным распределением на облучателе ($\Phi=0$). Результаты расчета этих величин приведены на рис. 4.

Для определения величины Φ_{opt} и соответствующего ей увеличения отношения $a_{эф}/T_{ш}$ необходимо знать полную шумовую температуру радиотелескопа и ее связь с параметрами перископической системы. Вы-

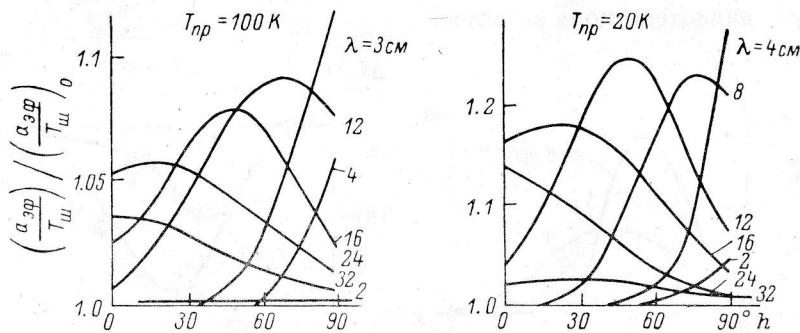


Рис. 6.

числим эти величины для перископической системы радиотелескопа РАТАН-600 ($a_0=7.4$ м, $b=5.5$ м, $d=288$ м/($1+\cos h$)).

Для расчета шумовой температуры радиотелескопа воспользуемся следующим выражением:

$$T_{ш} = T_{ш} + T_{обл} + T_{пр} + \eta_{ш}(T_{атм} + T_{мг} + T_{щ}),$$

где $T_{атм}(h, \lambda)$ — шумовая температура атмосферы. Ее значения примем в соответствии с [3]; $T_{мг} = 3$ К — шумовая температура метагалактического фона; $T_{щ} = 8$ К — шумовая температура, обусловленная щелями между элементами главного зеркала; $T_{обл} = 4$ К — шумовая температура облучателя вследствие переоблучения вторичного зеркала; $T_{ш} = (1 - \eta_{ш})$; 290 К — шумовая температура, обусловленная переоблучением отражателя; $T_{пр}$ — шумовая температура приемника.

Результаты расчета величины Φ_{opt} и относительного увеличения отношения $a_{эф}/T_{ш}$ при $T_{пр}=100$ К и $T_{пр}=20$ К приведены на рис. 5, 6. Здесь следует заметить, что практически улучшение параметров радио-

телескопа будет несколько меньше, так как величина u^2 , а следовательно, и Φ_{opt} в разных радиальных сечениях реальной перископической системы различны.

Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующие выводы об эффективности применения квадратичного распределения фазы поля на раскрыве облучателя перископической системы антенны переменного профиля. Достижимое улучшение основных характеристик невелико (для радиотелескопа РАТАН-600 — 5—20%). Наибольший эффект получается при условиях, что дифракция в перископической системе имеет ярко выраженный френелевский характер ($0.2 < u^2 < 0.8$). Для радиотелескопа РАТАН-600 такие условия выполняются при наблюдениях на малых углах места в дециметровом диапазоне волн и на больших углах на сантиметровых волнах. Выигрыш, естественно, заметен тем больше, чем больший вес в общей шумовой температуре радиотелескопа имеет компонента $T_{\text{ш}}$, т. е. при применении малошумящих радиометров. Практическое применение «подфокусировки» несколько затрудняется тем, что величина Φ_{opt} должна изменяться при изменении угла места и длины волны. Впрочем, при существующей конструкции радиотелескопа РАТАН-600 это нетрудно осуществить путем продольного смещения рупора первичного облучателя с помощью вставок в волноводе или замены облучателя.

Литература

1. Майорова Е. К., Стоцкий А. А. Расчет перископической системы антенны переменного профиля. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1981, 13, с. 117—130.
2. Корольков Д. В., Майорова Е. К., Стоцкий А. А. Экспериментальное исследование диаграммы направленности облучателя радиотелескопа РАТАН-600 и расчет шумовой температуры антенны. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1978, 10, с. 85—92.