21134114115 ИИ2 ФРОПРИЗИРСТВИР ЦАЦАРИТАЛ БОДБАЦАРИ ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЯ ССР

Sehushymuus ahunan arthu XXXIV, № 3, 1981 Серия технических наув

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

М. Г. АРАКЕЛЯН

К ТЕОРИИ ДОПУСКОВ БОЛЬШИХ МНОГОЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

В остронаправленных антенных системах наиболее оптимальные характеристики обеспечиваются при распределениях поля в раскрыве, близких к равномерным Однако, реальное поле в раскрыве в силу ряда причив отличается от равномерного. Одной из основных яричин является логрешность поверхностей зеркал и других конструктивных элементов антенной системы. Зависимость закона распределения фаз поля в раскрыве от погрешностей элементов конструкным в известных работах описывается сложными уравнениями, в особенности, в случае многозеркальных антени [1—3].

В пастоящей работе получены простые выражения зависимости фазовых отклонений поля в раскрыве многозеркальных антени от погрешностей их конструктивных элементов путем замены полного приращеция соответствующей функции полным дифференциалом. Задача решается в общем виде для двухзеркальных антени со сферическим главным зеркалом.

При линейных размерах антенн, существенно превышающих дляну волны, в теории антени широко используется метод геомстрической оптики. В этом случае понерхности зеркал должны обеспечивать равномерное распределение поля в раскрыне системы. Можно записать, что

$$\sum S_i - \sum c_i = 0, \tag{1}$$

где с. — длина участка пути центрального луча в зеркальной системе, а х. то же, для текущего луча.

Величины x, и c, являются функциями конструктивных параметров антенны, поэтому уравнение (1) следует рассмотреть как выражение нулевого значения фазы па поле раскрыва антенной системы через заданные геометрические размеры в неявном виде.

Если искаженные значения последних подставить в равенство (1), то получим некоторую разность путей s, которая будет полным прирашением этой функции.

Перейдя к дифференциалам, получим:

$$ds = ds_1 - ds_0, \tag{2}$$

28

$$ds_{i} = \sum dx_{i}; \qquad ds_{i} = \sum dc_{i}. \tag{3}$$

•Электрическая длина» отрезка ds равна

$$ds = \frac{dz}{2\pi} \, \Lambda \tag{4}$$

гае - длина волны: dp - фазовое отклонение.

В теории антени за максимально допустимое значение отклонения из в раскрыве принимается величния ±=/4. Следовательно, максимально допустимое значение будет равно ± $\lambda/8$.

Рассмотрим случай плоской задачи пля сферической двухзеркальной антенны.



Рис. 1. Схема двухзеркальной сферической антенны.

На рис. 1 показано главное сферическое зеркало 1, корректирующее малое зеркало 2, точка фокуса системы F, текущая гочка M фазового фронта поля в раскрыве, образованная лучом с отрезками a, b и

rge.

п. Все неличины показаны в состоянии определенного искажения от _Xчетных положений. На рис. 1 приняты также следующие обозначи ₀оу₀ — неподвижная система координат с началом в центре боль полусферы радиуса R_{\star} а ось ox_0 совмещена с осью симис *vou* подвижная система координат, где ось *оv* определяет ; обзора а *ои* находится в плоскости раскрыва; $xo_{\star}y$ — неподвисистема координат по отношению к малому зеркалу с началов вершиие ее расчетного профиля: x, y, v и u — координаты теху точки профиля малого зеркала; x_0 и y_0 координаты центра o_1 щения малого зеркала в системе $x_0 oy_0$; e — некоторая точка на малого зеркала: f фокусное расстояние от точки o_1 ; x_e, u_a стояния точки e от вершины профиля малого зеркала и оси u_a расстояние фокуса от оси ov; γ — угол поворота малого зервокруг точки e_a

В соответствии с изложенным выше формулу (3) можем запис

$$ds_{e} = dn + db + du$$
.

Кроме того имеем:

$$n = \frac{1}{\cos(2\theta - \theta_{1})} R; \qquad a = 1 \ \overline{(v_{1} - v)^{2} + (u_{1} - u)^{2}}; \\ b = 1 \ \overline{(n_{1} - v)^{2} + (r_{1} - u)^{2}}; \qquad = y_{0} \cos \frac{1}{2} - x_{0} \sin \frac{1}{2}; \\ v_{0} = y_{0} \sin \frac{1}{2} + x_{0} \cos \frac{1}{2}; \qquad = v_{0} + 1 \ \overline{e^{2} - (u_{e} - u_{0})^{2}}; \\ v_{0} + 1 \ \overline{f^{2} - (u_{f} - u_{0})^{2}}; \qquad v_{02} - v_{e} - x_{e} \cos \gamma; \\ u_{02} = u_{e} - x_{e} \sin \gamma; \qquad v = v_{01} + x \cos \gamma - y \sin \gamma; \\ u = u_{02} + y \cos \gamma + x \sin \gamma; \qquad u_{v} = u_{s} + \gamma; \\ \theta_{1} = 2u - 2\gamma - u_{s} = \arg \log \frac{u_{e} - u}{v_{f} - v}; \\ \theta = \theta_{e} - \arg \sin \left(\frac{u_{e} \cos \theta_{e}}{R} \sin \theta_{1}\right); \\ u_{1} = R \cos \theta; \qquad r_{1} = R \sin \theta.$$

В равенствах (6) а_г — угол между нормалью в текущей точки четного профиля малого зеркала и осью о_гх, а значения расчетных линат к и у определяются из уравнений [2]:

> $x = A - l - p \cos 2\theta; \qquad y = B - p \sin 2\theta;$ $A = 1 - 2(1 - \cos \theta) \cos^2 \theta; \qquad B = \sin \theta - (1 - \cos \theta) \sin 2\theta;$

$$p = \frac{1}{2} \cdot \frac{c^2 - (A - f)^2 - B^2}{c - (A - f)\cos 2\theta - B\sin 2\theta}, \quad c = 1 - 2l + f.$$

.30

гле l -- расчетное расстояние вершины малого зеркала от центра большой сферы, раднус которой принят за единицу.

Полный дифференциал ds с учетом раненств (2), (3), (5) и (6) выражиется;

$$ds = 2\cos\theta dR - 2dR_{u} - 2\sin\theta\cos\theta dx_{n} + 2\sin\theta\sin\theta dy_{0} + + 2\sin\theta de - (\sin2\theta - \sin\alpha) du_{e} + (\cos2\theta + \cos\alpha - 2) dx_{e} - - (\cos2\theta + \cos\alpha) dx + 2dx_{u} - (\sin2\theta - \sin\alpha) dy - \sin\alpha du_{e} - - (1 - \cos\alpha) dm + (e\sin2\theta - \sin\theta - m\sin\alpha) d\zeta,$$
(8)

Fac

$$n = f - e;$$
 $d\zeta = Rd_{1};$ $\alpha = \arcsin |y| (f - x - l)^{2} + y^{2};$ (9)

dR_n ошибка большой полусферы и некоторой точке поверхности, когда точка находится на оси малого зеркала; dx_u — ошибка поверхноств малого зеркала по оси о_nх около вершины.

В выражении (8) фазовые отклонения отсчитываются от точки перессчения центрального луча с илоскостью раскрыва, когда имеет место b = x = y = r = 0.

Для текущей точки () равенство дает линейную зависимость между снешевием фазы и ошноками конструкции антенны, однако распределетие фазовых отклонений по раскрыму неличейно. Можно проследить клияние каждой из погрешностей конструкции антенны в отдельности из синфазность поля по исему раскрыму, принимая остальные погрешноста рянными нулю.

Зависимость погрешностся отражающей поверхности большой поаугферы dR. dR₀, совпадения центров большой полусферы и вращения чалого зеркала dx₀, dy₀ осевого смещения малого зеркала от центра (альшой сферы имеют вид простых функций.

На рис. 2 приведены кривые занисимости фазового отклонения ds и координаты плоскости раскрыва для каждой из погрешностей dx_n.

Кривые лля Δx и $\Delta x_1 (\Delta y v \Delta y_1)$ показывают влияние погрешности координаты x (y) на фазовую ошибку, однако кривая $\Delta x (\Delta y)$ учитывает случай, когла текущие точки малого зеркала по x (y) имеют востоянную погрешность, равную едини е, а кривая $\Delta x_1 (\Delta y_1) - \kappa$ огла погрешности в текущих точках изменяются по закону $\Delta x = (x x_1) \Delta x_1$ ($\Delta y_1 = \Delta x_1$ ig 20 x/x₁), а за единицу принята ошибка в плоскости раскрыва.

При случайных ошибках можем воспользоваться среднеквадратическим суммированием погрешностей. Если э - среднеквадратическая овнока пройденного лучом пути от илоскости раскрыва до фокусаа э, с.к.о. соответствующих конструктивных элементов, то

$$\sigma^2 = 4 (\cos \theta - 1)^2 \sigma_R^2 + 1 \sin^2 \theta \cos^2 \phi \sigma_R^2 + 4 \sin^2 \theta \sin^2 \phi \sigma_0^2 + 1 \sin^2 \theta \sigma^2 = 1$$

$$+ (\sin 2\theta - \sin \alpha)^{2} z_{uc}^{2} + (\cos 2\theta + \cos \alpha - 2)^{2} = + (1 - \cos \alpha)^{2} z_{u}^{2} + + \sin^{2} \alpha z_{u}^{2} + (\cos 2\theta + \cos \alpha) \sigma z_{u}^{2} + (\sin 2\theta - \sin \alpha)^{2} z^{2} + + (e \sin 2\theta - \sin \theta + m \sin \alpha)^{2} z^{2}.$$
(10)

31

В этом случае неизвестные погрешности (допуски) можно выбирать. исходя из технологической простоты их обеспечения.



Рис. 2. Изменение фазы по раскрыву при действии одной ошноки.

В качестве примера систематических ошибок рассматривается влияние равномерного нагрева, а в качестве случайных — ошибки изготовления на синфазность поля в раскрыве антенны ГЭПИ-32/54.

Антенна имеет следующие параметры: R = 27000 мм; l = 0.49R; f = 0.63 R. Фундаментом для антенны служит железобетонная полусфера с внутренним раднусом $R_1 = 28800$ мм, толщиной стенки $B_1 = 1500$ мм. Главное сферическое зеркало состоит из отдельных литых алюминиевых щитов толщиной $b_1 = 60$ мм, закрепленных на индивидуальных стальных опорах высотой H = 1740 мм. Система вращения вторичного зеркала и поддерживающие се три опоры представляют собон стальные конструкции. Расстояние от оси симметрии главного зеркала до фундаментов треноги $H_1 = 20000$ мм. Вторичное зеркало стыкуется с подвижной металлоконструкцией в некоторой плоскости на расстояния e = 14500 мм от центра сферы главного зеркала.

Первоначально рассматривается вариант, когда вторичное зеркало изготовлено из титанового сплава, а стержни, поддерживающие облучатель, из алюминиевого. Стержни крепятся к вторичному зеркалу в плоскости, проходящей через точку *е* (рис. 1). Величину погрешностей конструкции определим, исходя из того, что для умеренного интервала температур, как правило

$$\Delta x_i = x_i \beta_i t, \tag{11}$$

где і номер конструкции; ј — матернал: х — соответствующий размер; β — коэффициент линейного расширения; Г — температура равномерного нагрева, отсчитанная от некоторой средней температуры, при которой произведена выверка антенны

Исследования показали, что при напреве принятого железобетонного фундамента внутренний раднус расширяется по закону

$$\Delta R_1 = 0.742 R_1 \beta_{\pm 0} t. \tag{12}$$

Можно доказать, что при равномерном нагреве из-за осесниметричности металлоконструкции трекоги

$$\Delta y_0 = 0, \qquad \Delta x_0 = 0.258 \frac{R_1^2}{H_1} + t. \tag{13}$$

Очевидно, что удлинение радиуса главного зеркала происходит по линейному закону

$$\Delta R = \Delta R_1 - \Delta H - \Delta b_1, \tag{14}$$

поэтому $\Delta R_n = \Delta R = \text{const}$ для всен поверхности.

Примем

$$\Delta x_0 = \Delta u_r = \Delta u_r = \Delta \gamma = \Delta \gamma = 0.$$

На рис. З даны кривые фазовых искажений в поле раскрыва в функции от $r = \sin\theta$ в области — 0,5926 – r = 0,5926 для разных значений 4 в пределах угла обаора — 60° – 4 \leq 60°, где t и к приняты за единицу Кривые Δs относятся к равномерному нагреву, а 4 – случайным ошибкам.

На рис. З следует, что Δς имсет нанбольшее значение тогда, когда r по абсолютноя величине наибольшее, а фравна нулю.

Поэтому формулу для определения допустимой величины температурного перепада или выбора материала для элементов конструкции антепны можно записать с численными коэффициентами:

$$\Delta \gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \left(-0.389 \Delta R + 0.702 \Delta x_0 + 0.702 \Delta \varepsilon - 1.331 \Delta x_\varepsilon - 0.669 \Delta x_1 + 1.883 \Delta y_1 - 0.629 \Delta m \right).$$
(15)

Для принятых материалов и размеров антенны при допустимом значении отклонения фазы ± π/4 из (15) получим допустимый перенад температуры, равный ± 1.26 г. град.

Допустимый температурный перепад можно изменить за счет конструкции антенны. В практике этого можно добиться изменением мате риала вторичного зеркала и длины стержней, поддерживающих облучатель, и компенсацией удлинения треноги и подвижной металлококструкции. Например, при стальном вторичном зеркале допустимый температурный перепад равен $\pm 1.18 \ \lambda$ град, а при алюминиевом — $\pm 0.96 \ \lambda$ град, если стержии крепятся в илоскости раскрыва вторичного зеркала, то $\pm 1.12 \ \lambda$ град. Заметный скачок допустимого перепада температур $\pm 14.8 \ \lambda$ град получим, если смещение Δx_0 свести к нулю или уменьшить один из двух параметров е и x_0 : x_0 на величину $\delta x_0 = -0.14$ а $e - c_e = -0.074 t$, при этом материал вторичного зеркала практически не будет влиять на допустимый перепад.



Рис. З. Изменение фазы по раскрыву при совместном действии ошнбок.

Исходя из возможности обеспечения точностей, в начале назначаются, по возможности, строгие допуски на характерные размеры и относительное расположение конструкций антенны. Для вторичного зеркала допуск назначается только на глубину x₁, а допуски на текущие координаты x, y и диаметр 2y, определяются формулами

$$\Delta x = \frac{1}{x_1} \Delta x_1, \quad \Delta y = \Delta x \log 2\theta. \tag{16}$$

На рис. З кривая с является функцией фазового сдвига по плоскости раскрыва при некоторых предварительно принятых среднеквадратических ошибках. Наибольшее значение кривая имеет при крайних значениях г. Изменение значения среднеквадратических ошибок в приемлемых пределах по сравнению с предварительными хотя и приводит к изменению кривой з (рис. 3), однако аргумент г, при котором функция имсет наибольшее значение, не изменяется. Это дает возможность получить формулу среднеквадратических ошибок с численными коэффициентами для случая, когда ее необходимо использовать для нолбора допустимых среднеквадратических ошибок элементов антенны.

Подставляя в (10) 6 агс sin 0,5926 и соответствующие значения х и у, получим:

$$z_{e} = \frac{2\pi}{i} (0.151 s_{R}^{2} - 0.493 z_{A}^{2} + 0.832 z_{e}^{2} + 1.772 z_{Ae}^{4} + 0.447 s_{e1}^{2} + 3.547 z_{vl}^{2} + 3.547 z_{vl}^{2} + 0.862 z_{al}^{2} + 0.395 z_{m}^{2} + 0.028 z_{l}^{1+5}.$$
 (17)

Подобранные согласно раненства (15) допустимые значения среднеквадратических ошибок не должны резко отличаться от тех предварительных ошибок, на основании которых вычислены коэффициенты равенств. В протинном случае вновь подобранные допуски необходимо проверить по функции (10), наибольшее шачение которой не должно быть больше допустимого.

Принимая нормальный закон распределения случайных ошибок при изготовлении ГЭПИ 32/54, назначены следующие допуски на антенну:

> $\Delta R = \pm 0,184i; \qquad \Delta x_0 = \Delta y_0 = \pm 0,126i;$ $\Delta e = \pm 0,09i; \qquad \Delta x_e = \pm 0,03i; \qquad \Delta u_e = \pm 0,042i;$ $\Delta u_i = \pm 0,18i; \qquad \Delta m = \pm 0,051i; \qquad \Delta \chi = -8,2i \ ce\kappa;$ $\Delta x_i = \pm 0,025i; \qquad \Delta y_i = \pm 0,081i,$

которые подобраны согласно равенству (17), удовлетворяют равенству (10) и достаточно близки к оптимальным.

Если в процессе изготовления антенны обеснечение ряда принятых допусков окажется затруднительным, необходимо нересмотреть все допуски согласно приведенному расчету.

Hocrymuto 22, 1 1980

Մ. Գ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

внири

ՄԵԾ ՔԱԶՄԱՀԱՅԵԼԱՎՈՐ ԱԵՏԵՆԱՆԵՐԻ ԹՈՒՅԼՏՎԱԾՔԵԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

əույց է տրված, որ մեծ բազմառայելավոր անտենաների քուսավածջների տեսությունում դիֆերենցիալների միջոցով ստացվում են պարդ կիրառական թանաձևեր, որոնք նպատակահարժար են անտենայի պատըների հետեվանքով բացվածքի հարքունյունում առաջացած ֆազային շեղումների ուսումնասիրուքյան դեպքում։

Առաջարկված մեթոդի Նպատակահարմարությունը ցույց է տրված ГЭПИ 32/54 սֆերիկ երկհայելային անտենայի թուլլտվածըների դնահատ ման օրինակով։

ЛИТЕРАТУРА

- Бихрах Л. Д. Вавилова И. В. Сферические двухзеркальные антенны «Раднофизика и элуктроника», 1961, № 7.
- 2 Геруна И. М. Вопросы расчета сферических двухзеркальных антеки + Раднофизика и электроника», 1961, № 1.
- Брейсциял. Геория допусков для больших антени. «Зарубежная радноэлектроника», 1962, № 3.