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 причин отличается от равномерного. Одной из основных причин является погрешность поверхностей зеркал и других конструктивных элементом антенной системы. Зависимость закона распределения фаз поля в раскрыве от погрешностей элементов конструкции в известных работах описывается сложными уравнениями, в особенности, в случае многозеркальных антени [1—3].

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

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

$$\sum x_i - \sum c_i = 0, \quad (1)$$

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

Величины x_i и c_i являются функциями конструктивных нараметров антениы, поэтому уравнение (1) следует рассмотреть как выражение нулевого значения фазы на 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:

$$ds = ds_0 - ds_0, (2)$$

$$ds_a = \sum dx_i; \qquad ds_o - \sum dc_i. \tag{3}$$

«Электрическая длина» отрезка ds равна

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

где $I = длина волиы: d \varphi = фазовое отклонение.$

В теории витени за максимально допустимое значение отклонения из в раскрыве принимается величина $\pm \pi/4$. Следовательно, максимально допустимое значение из будет равно $\pm \lambda/8$.

Рассмотрим случай плоской задачи для сферической двухзеркальвой витенны.

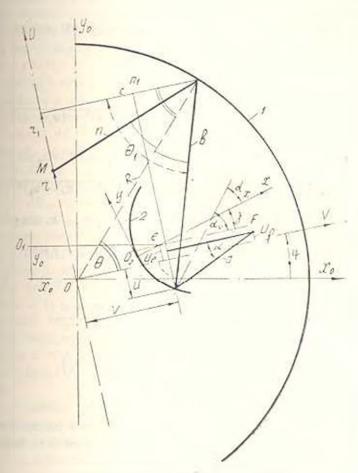


Рис. 1. Схема двухзеркальной сферической антенны.

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

В соотпетствии с изложенным выше формулу (3) можем запис

$$ds_a = dn + db + da$$
.

Кроме того имсем:

В равенствах (6) α_z — угол между нормалью в текущей точке четного профиля малого зеркала и осью $o_z x$, а значения расчетных динат x и y определяются из уравнений [2]:

$$x = A - l - p \cos 2\theta; \qquad y = B - p \sin 2\theta;$$

$$A = 1 - 2(1 - \cos \theta) \cos^2 \theta; \qquad B = \sin \theta - (1 - \cos \theta) \sin 2\theta;$$

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{c^2 - (A - f)^2 - B^2}{c - (A - f) \cos 2\theta - B \sin 2\theta}; \qquad c = 1 - 2l + f$$

тае l — расчетное расстояние вершины малого зеркала от центра большой сферы, радиус которой принят за единицу.

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

$$ds = 2\cos\theta dR - 2dR_{11} - 2\sin^{2}\theta\cos\phi dx_{n} + 2\sin^{2}\theta\sin\phi dy_{0} + 2\sin^{2}\theta de - (\sin 2\theta - \sin \alpha) du_{r} + (\cos 2\theta + \cos \alpha + 2) dx_{r} - (\cos 2\theta + \cos \alpha) dx_{r} + 2dx_{11} - (\sin 2\theta - \sin \alpha) dy_{0} - \sin \alpha du_{1} - (1 - \cos \alpha) dm_{0} + (e \sin 2\theta - \sin \theta - m \sin \alpha) d\zeta_{0}$$
(8)

FAC

$$m = f - e$$
; $d\zeta = Rd\gamma$; $\alpha = \arcsin y/1 (f - x - l)^2 + y^-$; (9)

 $dR_{\rm a}$ — ошибка большой полусферы и некоторой точке поверхности, когда точка находится на оси малого зеркала; $dx_{\rm u}$ — ошибка поверхности малого зеркала по оси $o_{\rm s}x$ около вершины.

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

Для текущей точки в равенство дает линейную зависимость между смещением фазы и ошножами конструкции антенны, однако распределетве фазовых отклонений по раскрыму неличейно. Можно проследить
влияние каждой на погрешностей конструкции антенны в отдельности
на снифазность поля по всему раскрыму, принимая остальные погрешности равными нулю.

Зависимость погрешностей отражающей поверхности большой полусферы dR, $dR_{\rm in}$, совпадения центров большой полусферы и вращения чалого зеркала dx_0 , dy_0 осевого смещения малого зеркала от центра большой 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 для Δx и $\Delta x_1 (\Delta y v \Delta y_1)$ показывают влияние погрешности координаты x (y) на фазовую ошибку, однако кривая Δx (Δy) учитивает случай, когда текуппие точки малого зеркала по x (y) имеют постоянную погрешность, равную едини е, а кривая $\Delta x_1 (\Delta y_1) = \text{когда}$ погрешности в текуппих точках изменяются по закону $\Delta x = (x x_1) \Delta x_1 (\Delta y_1 = \Delta x_1 tg 26 x/x_1)$, а за единицу принята ошибка в плоскости раскрыва.

При случайных овыбках можем воспользоваться среднеквадратическим суммированием погрешностей. Если э — среднеквадратическая овибка пройденного лучом пути от плоскости раскрыва до фокусата э, с. к. о. соответствующих конструктивных элементов, то

$$\sigma^{2} = 4 (\cos \theta - 1)^{2} \sigma_{R}^{2} + 1 \sin^{2} \theta \cos^{2} \phi \sigma_{r0}^{2} + 4 \sin^{4} \theta \sin^{2} \phi \sigma_{r0}^{2} - 1 \sin^{4} \theta \sigma^{2} + 4 \sin^{4} \theta \sin^{2} \phi \sigma_{r0}^{2} + (\cos 2\theta + \cos \alpha - 2)^{2} \sigma_{r0}^{2} + (1 - \cos \alpha)^{2} \sigma_{r0}^{2} + \sin^{4} \theta \sigma_{r0}^{2} + (\cos 2\theta + \cos \alpha) \sigma_{r0}^{2} + 4 \sigma_{r0}^{2} + (\sin 2\theta - \sin \alpha)^{2} \sigma_{r0}^{2} + (e \sin 2\theta - \sin \theta) + m \sin \alpha)^{2} \sigma_{r0}^{2}.$$

$$(10)$$

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

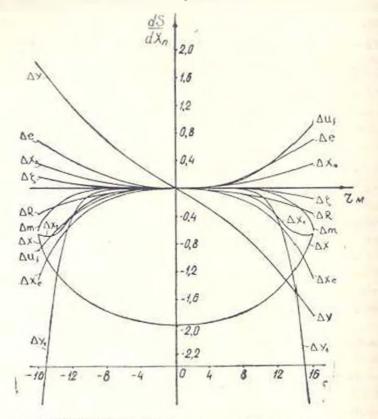


Рис. 2. Изменение фазы по раскрыву при действии одной ошибки.

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. Гланное сферическое зеркало состоит из отдельных литых алюминиевых щитов толшиной $h_1=60$ мм, закрепленных на индивидуальных стальных опорах высотой H=1740 мм. Система вращения вторичного зеркала и поддерживающие се три опоры представляют собои стальные конструкции. Расстояние от оси симметрии главного зеркала до фундаментов треноги $H_1=20000$ мм. Вторичное зеркало стакуется с подвижной металлоконструкцией в некоторой плоскости на расстоянии e=14500 мм от центра сферы главного зеркала.

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

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

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

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

Можно доказать, что при равномерном нагреве из-за осесимметричности металлоконструкции треноги

$$\Delta y_0 = 0, \qquad \Delta x_0 = 0.258 \frac{R^2}{L} = t.$$
 (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

$$\Delta x_{ii} = \Delta u_{ir} = \Delta u_{ir} = \Delta \gamma = \Delta^* = 0.$$

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° — $\phi \leqslant 60^\circ$, где r и λ приняты за единицу Кривые Δs относятся к равномерному нагреву, а $\phi = 0.5926$ — случайным ошибкам.

Из рис. 3 следует, что Δs имеет наибольшее значение тогда, когда г по абсолютной величине наибольшее, а фравна нулю.

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

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

Для принятых материалов и размеров антенны при допустимом значении отклонения фазы $\pm \pi/4$ из (15) получим допустимый перепад температуры, равный $\pm 1.26 \lambda$ град.

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

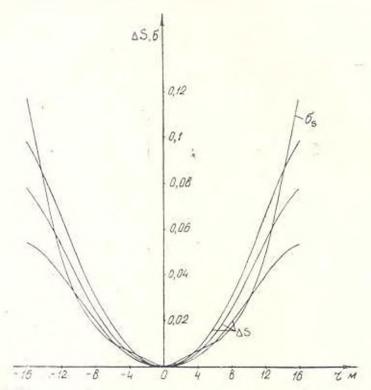


Рис. 3. Изменение фазы по раскрыву при совместном действии ошибок.

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 x_1 , а допуски на текущие координаты x, у и диаметр $2y_1$ определяются формулами

$$\Delta x = \frac{1}{x_1} \Delta x_1, \qquad \Delta y = \Delta x \operatorname{to} 2\theta. \tag{16}$$

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

Подставляя в (10) 6 — arc sin 0,5926 и соответствующие значения ж и у, получим:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{\mu} &= \frac{2\pi}{i} (0.151 s_{R}^{2} - 0.493 \tau_{A}^{2} + 0.832 \tau_{c}^{2} + 1.772 \tau_{Ac}^{4} + 0.447 s_{c1}^{2} + \\
&+ 3.547 \tau_{vl}^{2} + 3.547 \tau_{uc}^{2} + 0.862 \tau_{ul}^{2} + 0.395 \tau_{m}^{2} + 0.028 \varepsilon_{l}^{-5}.
\end{aligned} \tag{17}$$

Подобранные согласно раненства (15) допустимые значения среднеквадратических ошибок не должны резко отличаться от тех предварительных ошибок, на основании которых вычислены коэффициенты равенств. В противном 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:

$$\begin{split} \Delta R &= \pm 0.184 i; \qquad \Delta x_0 = \Delta y_0 = \pm 0.126 i; \\ \Delta e &= \pm 0.09 i; \qquad \Delta x_c = \pm 0.03 i; \qquad \Delta u_r = \pm 0.042 i; \\ \Delta u_j &= \pm 0.18 i; \qquad \Delta m = \pm 0.051 i; \qquad \Delta \chi = -8.2 i \; ce\kappa; \\ \Delta x_1 &= \pm 0.025 i; \qquad \Delta y_1 = \pm 0.081 i. \end{split}$$

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

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

винири

Поступило 22. I 1980

IF. A. HOMEDISMA

ՄԵԾ ՔԱԶՄԱՀԱՅԵԼԱՎՈՐ ԱԵՏԵՆԱՆԵՐԻ ԹՈՒՅԼՏՎԱԾՔԵԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԵՆ

Кафафия

մույց է տրված, որ մեծ բազմառայնլավոր անտենաների βուսավածջների տեսությունում դիֆերենցիայների միջոցով ստացվում են պարզ կիրառական բանաձևեր, որոնք նպատականարմար են անտենայի սխալների նետևվանքով բացվածքի քարքությունում առաջացած ֆազային շեղումների ուսումնասիրության դեպքում։

Առաջարկված մեթոդի Նպատակահարմարությունը ցույց և տրված T3TM 32/54 սֆերիկ երկհայելային անտենայի թույլտվածքների գնահատման օրինակով։

ЛИТЕРАТУРА

- Бихрах Л. Д. Вавилова И. В. Сферические даухзсркальные антенны «Радиофизика и электроника», 1961, № 7.
- 2 Геруна И. М. Вопросы расчета сферических двухзеркальных антенн «Радиофизика и электроника», 1961, № 1.
- Брейсичал. Геория допусков для больших антени. «Зарубежная радноэлектроника».
 1962. № 3.