

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ СМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСИ АНТЕННЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ С ПОМОЩЬЮ ВНЕЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

А. М. АСЛАНЯН, А. Г. ГУЛЯН

Предложен метод определения зависимости смещения электрической оси антенны в угломестной плоскости от угла места с помощью внеземного источника радиоизлучения в предположении, что смещение электрической оси антенны в азимутальной плоскости известно и не зависит от угла места.

Во многих случаях вследствие ряда причин электрическая ось антенны не совпадает с геометрической.

В работе [1] подробно рассмотрен вопрос об измерении смещения электрической оси антенны в азимутальной и угломестной плоскостях (ΔA , Δh) радиоастрономическим методом.

Этот метод вкратце сводится к следующему. Выбирается эталонный космический источник радиоизлучения с известными экваториальными координатами (α , δ). Рассчитываются момент верхней кульминации ($t_{\text{расч.}}$) и азимутальные координаты (A , h), соответствующие этому моменту для данной точки Земли с географическими координатами φ и λ , где установлена антенна. В точке кульминации источник движется только в азимутальной плоскости. На выходном регистрирующем приборе приемного устройства записывается прохождение источника через диаграмму направленности антенны, направленной в расчетную точку, и одновременно наносятся метки точного времени t_N (рис. 1). Из записи определяется момент максимального сигнала—

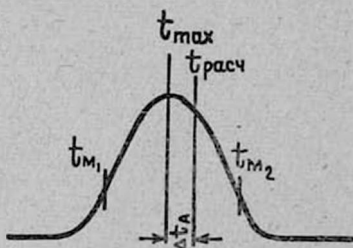


Рис. 1. Прохождение источника через диаграмму направленности антенны; t_{N1} , t_{N2} — метки времени, t_{max} — момент максимального сигнала, $t_{\text{расч.}}$ — расчетное время максимального сигнала.

t_{max} . Разность $\Delta t = t_{\text{расч.}} - t_{\text{max}}$ дает смещение во времени электрической оси антенны в горизонтальной плоскости. Формула, позволяющая определить поправку к показанию азимутальной шкалы, следующая

$$\Delta A = \frac{15 \cos \delta}{\cos h} \Delta t.$$

Если для выбранного источника выполняется условие $\delta > \varphi$, то источник имеет так называемые точки возврата (элонгации), где движение источника происходит только в угломестной плоскости. Аналогичные измерения, проведенные в этих точках, позволяют определить значение смещения электрической оси в угломестной плоскости — Δh . Формула, определяющая поправку к показанию угломестной шкалы, имеет вид

$$\Delta h = 15 \cos \delta \cdot \Delta t.$$

Если источник не имеет точек элонгации, то вопрос измерения Δh очень осложняется [1].

Нами предлагается метод измерения Δh остронаправленных антенн в любой точке траектории движения источника в предположении, что смещение электрической оси антенны в азимутальной плоскости известно и не зависит от угла места.

Направление движения источника в каждой точке его траектории определяется параллактическим углом q , который вычисляется из соотношения:

$$\operatorname{tg} q = \frac{\cos \varphi \sin t}{\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t},$$

где t — часовой угол источника. В пределах диаграммы направленности остронаправленных антенн параллактический угол с большой точностью можно считать постоянным, т. е. траекторию движения источника можно считать прямой линией.

Рассмотрим случай, когда сечение диаграммы направленности есть эллипс с осями a и b , где $2a$ и $2b$ — ширины диаграммы направленности антенны соответственно в азимутальной и угломестной плоскостях. Пусть AA' — траектория движения источника. Допустим, что антенна направлена в некоторую произвольную точку O траектории, но вследствие смещений ΔA и Δh электрическая ось будет направлена в другую точку O_1 (рис. 2). Легко убедиться, что время максимального сигнала выходного индикатора приемного устройства будет соответствовать положению источника в точке M — в середине отрезка M_1M_2 , где M_1 и M_2 — положения источника соответственно при входе в диаграмму и выходе из нее.

Из рис. 2 можно получить следующие соотношения:

$$Y_M = \frac{b^2(\Delta h + \Delta A \operatorname{tg} q)}{b^2 + a^2 \operatorname{tg}^2 q}, \quad \Delta h = Y_M - MQ, \quad MQ = \Delta t \sin q,$$

откуда после простых преобразований для смещения электрической оси антенны в угломестной плоскости в единицах времени получаем выражение

$$\Delta h = \frac{\Delta A \cos q - \Delta t (\cos^2 q + k^2 \sin^2 q)}{k^2 \sin q}, \quad (2)$$

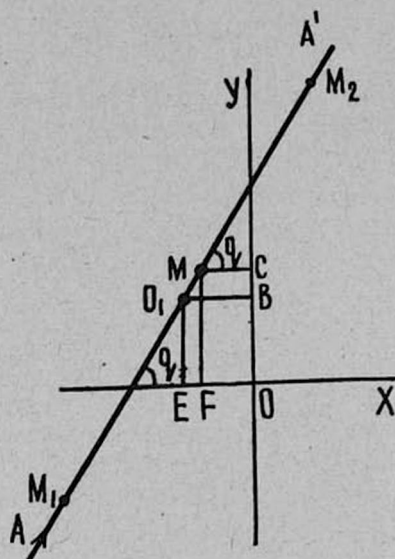


Рис. 2. К выводу формулы (2).

где ΔA — смещение электрической оси антенны в азимутальной плоскости (в единицах времени), Δt — разность между расчетным временем прохождения источника через точку O и временем максимального сигнала, определяемым из записи, а $k = \frac{a}{b}$.

Окончательная формула, позволяющая определить смещение Δh в угловых единицах, такова

$$\Delta h = \frac{\Delta A \cos q - \Delta t (\cos^2 q + k^2 \sin^2 q)}{k^2 \sin q} \cdot 15 \cos \delta. \quad (3)$$

Средняя квадратичная абсолютная ошибка в определении Δh вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{\Delta h} = \left\{ \left(\frac{\cos q}{k^2 \sin q} \varepsilon_{\Delta A} \right)^2 + \left(\frac{\cos^2 q + k^2 \sin^2 q}{k^2 \sin q} \varepsilon_{\Delta t} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left[\frac{\Delta t \cos q - \Delta A + (1 - k^2) \sin^2 q \cos q}{k^2 \sin^2 q} \varepsilon_q \right]^2 \right\}^{1/2} 15 \cos \delta, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\Delta A}$ и $\varepsilon_{\Delta t}$ — средние квадратичные абсолютные ошибки измерения ΔA и Δt , а $\varepsilon_q = \frac{q_1 - q_2}{2}$ (q_1 и q_2 — параллактические углы источника, соответствующие точкам M_1 и M_2).

В случае, когда сечение диаграммы направленности антенны есть окружность ($k = 1$), формулы (3) и (4) упрощаются и принимают вид:

$$\Delta h = \frac{\Delta A \cos q - \Delta t}{\sin q} 15 \cos \delta, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\Delta h} = \sqrt{\left(\frac{\cos q}{\sin q} \varepsilon_{\Delta A}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sin q} \varepsilon_{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t \cos q - \Delta A}{\sin^2 q} \varepsilon_q\right)^2} \cdot 15 \cos \delta. \quad (6)$$

Применение формул (3) — (6) имеет некоторое ограничение, а именно, с их помощью невозможно определить Δh в точках кульминации выбранных эталонных источников, так как в этих точках $q = 0$ и формулы превращаются в бесконечность. Вблизи точек кульминации паралактический угол нельзя считать постоянным в пределах диаграммы направленности антенны и, кроме того, $\sin q$ мало отличается от нуля, из-за чего сильно возрастают ошибки при измерении Δh .

Анализ ошибок измерения Δh , проведенный для простоты по формуле (6) для разных значений φ и δ , показывает следующее.

1) При $h < h_{в.к.} - h(\vartheta)$ (где $h_{в.к.}$ — угол места источника в его верхней кульминации, а $h(\vartheta)$ — некоторый угол, значение которого зависит от ширины диаграммы направленности антенны ϑ) третьим членом подкоренного выражения (6) практически можно пренебречь относительно первых двух. Отметим, что с увеличением θ угол $h(\theta)$ увеличивается. В частности, при $\theta = 30$ угловым минутам $h(\theta) \approx 5^\circ$.

2) Предложенный метод позволяет определить зависимость смещения Δh от угла места в пределах $0 \leq h \leq 90^\circ - h(\theta)$.

3) Минимальная ошибка измерений Δh , которая получается при $\sin q = \pm 1$ (в точках элонгации источников), равна

$$\varepsilon_{\Delta h(\min)} = \varepsilon_{\Delta t} 15 \cos \delta.$$

4) Если $\varphi \leq 45^\circ$, то зависимость Δh от h можно определить с помощью одного эталонного источника. Если $\varphi > 45^\circ$, то для определения этой зависимости необходимо выбрать два источника.

5) Для измерения зависимости Δh от h можно выбрать такие источники, чтобы максимальная ошибка измерения Δh не превышала $2,5 \cdot \varepsilon_{\Delta h(\min)}$.

Из формулы (4) видно, что все пункты справедливы и для случая $k \neq 1$ с той лишь разницей, что ошибки измерения Δh всюду умножаются на k^{-2} .

Подставляя $q = 0$ и $q = \pm 90^\circ$ в выражение (2), можно получить в частных случаях смещения ΔA и Δh , когда измерения проводятся соответственно в точках кульминации и элонгации.

Авторы выражают благодарность Э. Г. Мирзабекину за ценные замечания при обсуждении полученных результатов.

Институт радиопизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 20.VII.1972

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович. Радиоастрономические методы измерения параметров антенн, М., 1962.
2. Астрономический календарь. Постоянная часть, М., 1962.

ԿՈՍՄՈՍԿԱԿԱՆ ՌԱԴԻՈԱՂՔՅՈՒՐՆԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԱՆՏԵՆԱՅԻ
ԵՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ԱՌԱՆՑՔԻ ՆԿԱՏՄԱՄԲ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ԱՌԱՆՑՔԻ ՇԵՂՄԱՆ ՉԱՓՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա. Մ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ, Ա. Գ. ԳՈՒԼՅԱՆ

Ենթադրելով, որ անտենայի էլեկտրական առանցքի շեղումը հորիզոնական հարթության մեջ հայտնի է և կախված չէ բարձրությունից, առաջարկված է մեթոդ՝ ուղղահայաց հարթության մեջ անտենայի էլեկտրական առանցքի շեղման և տեղի անկյան միջև եղած կապը որոշելու համար, ընդ որում օգտագործվում է կոսմիկական ռադիոճառագայթման միայն մեկ աղբյուր:

ON THE MEASUREMENT OF THE DISPLACEMENT OF
ANTENNA ELECTRICAL AXIS FROM GEOMETRICAL ONE BY
COSMIC RADIOSOURCES

A. M. ASLANIAN, A. G. GULIAN

Assuming that the displacement of the antenna electrical axis in the horizontal plane is known and does not depend on the altitude, a method for definition of the dependence of antenna electrical axis displacement on the altitude in the vertical plane is proposed, by using only one radiosource.