

ТОЧНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА РАТАН-600

В. А. Фомин, П. М. Афанасьева

Получены оценки точности дифференциальных определений прямых восхождений и склонений радиоисточников по наблюдениям на РАТАН-600 в азимутах, симметричных относительно меридиана. Показана принципиальная возможность определения обеих координат Меркурия и Венеры на волне 2.08 см с точностью 0'3—1'0 во всей эклиптической зоне.

The estimates are found for the accuracy of differential determinations of the right ascensions and the declinations of radio sources from the RATAN-600 observations made in the azimuths symmetrical with respect to the meridian. Both coordinates of Mercury and Venus can be determined at 2.08 cm in principle with the accuracy of 0'3—1'0 arcsec through the whole ecliptical zone.

Абсолютные определения координат связаны с выводом параметров ориентации инструмента, например азимута и наклонности, а также широты обсерватории непосредственно из наблюдений. Радиотелескоп РАТАН-600 является системой азимутального апертурного синтеза, и для определения склонений источников необходимы наблюдения в нескольких азимутах, которые выполняются с помощью различно ориентированных секторов антенны [4]. В случае наблюдений в одном азимуте, как, например, при определении прямых восхождений источников из меридианных измерений, параметры ориентации используемого сектора в общем случае также нельзя считать постоянными, так как при заданной диаграмме облучателя горизонтальный размер апертуры антенны будет меняться в зависимости от зенитного расстояния наблюдаемого источника [5], что может привести к изменению ориентации электрической оси системы. Таким образом, при определении координат радиоисточников на РАТАН-600 предпочтение следует отдать методам дифференциальных координатных измерений, уже в первых экспериментах показавших свою эффективность [1, 2].

Для оценки точности дифференциальных координатных измерений на РАТАН-600 воспользуемся соотношением, легко выводимым из рассмотрения параллактического треугольника:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A} - \Delta\delta \cos \varphi \sin A \sec \delta + \Delta A \sin z + \Delta\varphi \cos z \sin A = \\ = \Delta s \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ — поправки координат источника; $\Delta\varphi$ — поправка широты обсерватории; ΔA — поправка азимута, в котором выполняется наблюдение, Δs — разность между наблюдаемым и эфемеридным моментами прохождения источника через вертикал в азимуте A . Предположим, что по наблюдениям опорных радиоисточников с хорошо известными координатами получена и детально исследована система инструмента для каждого из 12 азимутов, в которых могут выполняться наблюдения на РАТАН-600 [3]. Это значит, что наблюдения источника, координаты ко-

торого определяются, могут быть с достаточной точностью исправлены редуциями, учитывающими совокупное влияние на наблюдаемый момент прохождения источника через вертикал поправок $\Delta\varphi$, ΔA и других инструментальных параметров. В этом предположении сохраним в уравнении (1) лишь неизвестные поправки координат источника и определим оптимальные условия для их вывода из наблюдений с максимально возможной точностью в случайном отношении.

Очевидно, что для определения дифференциальных прямых восхождений источников наблюдения выгоднее всего выполнять в меридиане. Нетрудно также показать, что для определения склонений наиболее оптимальными будут наблюдения в азимутах, симметричных относительно меридиана. Действительно, в этом случае поправка $\Delta\delta$ определяется из двух уравнений (1) с максимально возможным весом, а сами наблюдения выполняются на одинаковых зенитных расстояниях с одной и той же точностью измерений. Из двух наблюдений в азимутах $A_1 = -A_2 = A$ имеем

$$\Delta\alpha = \frac{1}{2} (\Delta s_1 + \Delta s_2);$$

$$\Delta\delta = \frac{1}{2} (\Delta s_2 - \Delta s_1) \frac{\cos \delta \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A}}{\cos \varphi \sin A}, \quad (2)$$

а средние квадратические ошибки выполненных таким образом единичных измерений прямого восхождения (с учетом приведения к экватору) и склонения источника определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\Delta\alpha \cos \delta} &= (\sigma_{\Delta s} / \sqrt{2}) \cos \delta; \\ \sigma_{\Delta\delta} &= (\sigma_{\Delta s} / \sqrt{2}) \cos \delta \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A} / (\cos \varphi \sin A), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\sigma_{\Delta s}$ — средняя квадратическая ошибка регистрации момента прохождения источника со склонением δ через вертикал с азимутом A .

Для последней ошибки примем $\sigma_{\Delta s} \sim l/v \sim \lambda/(vD)$, где l — угол раствора горизонтальной диаграммы по уровню половинной мощности; v — скорость прохождения источника через горизонтальную диаграмму; λ — рабочая длина волны; D — горизонтальный размер апертуры антенны.

Если для источника с $\delta = 0^\circ$ по меридианным наблюдениям ($A = 0$, $v = v_0$, $D = D_0$) на волне λ_0 получено $\sigma_{\Delta s} = \sigma_0$, то в общем случае

$$\sigma_{\Delta s} = \sigma_0 (\lambda/\lambda_0) (v_0/v) (D_0/D) = \sigma_0 (\lambda) (v_0/v) (D_0/D). \quad (4)$$

Так как

$$v = \frac{dA}{dt} \sin z = \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A},$$

где z — зенитное расстояние источника, то

$$v_0/v = 1/\sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A}. \quad (5)$$

Последний множитель в (4), зависящий от зенитного расстояния, определяется по формуле

$$D_0/D = 0.70 (1 + 0.5 \sin z)/(1 - 0.08 \sin z), \quad (6)$$

учитывающей основные параметры РАТАН-600 и полученной нами из соотношений, приведенных в [5].

Как видно, формула (3) имеет особенности при $A = 0$ и 180° (склонение не определяется), а также при $\cos^2 \delta - \cos^2 \varphi \sin^2 A = 0$, что для широты

РАТАН-600 и фиксированных через 30° азимутов радиотелескопа выполняется при следующих комбинациях азимутов и склонений:

A	± 90	± 120	$\pm 150^\circ$
δ	43.8	51.3	68 $^\circ$ 9

В этих точках источник перемещается вдоль широкого сечения диаграммы, и оценки точности носят чисто формальный характер. Для определения склонений можно использовать соседний азимут. Для источников с $\delta \geq 68.9$ такая возможность исключается.

Оценки средних квадратических ошибок единичного измерения прямого восхождения (с приведением к экватору) и склонения источника получены по формулам (3) с учетом (4)–(6). Для меридианных измерений определены также средние квадратические ошибки одного наблюдения по прямому восхождению, отнесенные к экватору.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании экспериментов по координатным измерениям на РАТАН-600. Так, например, выполненные нами наблюдения опорных источников показали, что на волне 2.08 см приведенная к экватору средняя квадратическая ошибка одного меридианного наблюдения по прямому восхождению составляет ± 0.02 – 0.05 [1]. Принимая $\sigma_0 = 0.50$ и предполагая, что вплоть до $z = 75^\circ$ ошибки реальных наблюдений будут близки к формальным оценкам (3), получаем, что при наблюдениях на волне 2.08 см в азимутах $\pm 60^\circ$ ошибки координат источников в зоне склонений от $+4$ до -10° уже сейчас могут составить 0.3 – 0.6 по склонению и 0.5 по прямому восхождению. Южнее, вплоть до склонения -25° , наблюдения в азимутах $\pm 30^\circ$ могут обеспечить точность одного измерения склонения около $1''$. Применительно к таким объектам, как Меркурий и Венера, эти оценки указывают на принципиальную возможность определения на РАТАН-600 не только прямых восхождений [1], но и склонений этих близких к Солнцу и труднодоступных для оптических позиционных наблюдений планет практически в любой точке их орбит с точностью в случайном отношении, близкой к точности дневных меридианных наблюдений. Можно надеяться, что с переходом к более коротковолновому диапазону точность координатных измерений на РАТАН-600 будет повышаться [4].

Авторы благодарят Г. Б. Гельфрейха и А. А. Немиро за полезные консультации и обсуждение данной работы.

Список литературы

1. Афанасьева П. М., Фомин В. А. Определение прямых восхождений Меркурия на радиотелескопе РАТАН-600. — Письма в АЖ, 1978, 4, № 7, с. 328–331.
2. Белевитин А. Г., Зверев Ю. К. Геодезические работы при строительстве и юстировке радиотелескопа РАТАН-600. — Изв. ГАО, 1972, 188, с. 114–119.
3. Брауде Б. В., Есепкина Н. А., Кайдановский Н. Л., Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н. Выбор размеров отражающих элементов и расчет электрических характеристик радиотелескопа РАТАН-600. — Изв. ГАО, 1972, 188, с. 40–53.
4. Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н. Методы радиоастрономического использования РАТАН-600. — Изв. ГАО, 1972, 188, с. 13–39.
5. Пинчук Г. А., Стоцкий А. А. Автоколлимационный метод установки электрической оси радиотелескопа РАТАН-600 для измерений прямых восхождений радиоисточников. — Астрофиз. исслед. (изв. САО), 1978, 10, с. 132–138.