

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ РАДИОИСТОЧНИКОВ НА БОЛЬШОМ ПУЛКОВСКОМ РАДИОТЕЛЕСКОПЕ

Ю. К. Зверев, Н. М. Липовка

Рассмотрены факторы, связанные с геометрией антенны переменного профиля и влияющие на положение диаграммы направленности Большого пулковского радиотелескопа. На основании анализа возможных ошибок в положении диаграммы направленности определены меры по повышению точности координатных измерений путем усовершенствования установки в меридиан первичного облучателя и учета разворота вторичного зеркала относительно первого вертикала. Приведены результаты эксперимента, подтвердившие возможность повышения точности координатных измерений на Большом пулковском радиотелескопе.

The factors are considered related to the geometry of the variable profile antenna and affecting the position of the directional diagram of the Large Pulkovo Radio Telescope. On the basis of an analysis of possible errors in position of the directional diagram ways of increasing the accuracy of coordinate measurements are found by means of improvement of setting the primary feed in the meridian and allowing for a turn of the secondary mirror relative to the prime vertical. The results of an experiment are given supporting the possibility of increasing the accuracy of coordinate measurements with the Large Pulkovo Radio Telescope.

Основной режим работы Большого пулковского радиотелескопа (БПР) — режим пассажного инструмента. Поэтому наряду с решением астрофизических задач радиотелескоп может быть использован для определения координат радиоисточников. Из-за специфики диаграммы направленности (ДН) БПР [1] склонения и прямые восхождения радиоисточников определяются с различной точностью, наиболее точно определяются прямые восхождения [2]. Если ДН радиотелескопа лежит в плоскости меридиана, то, пренебрегая влиянием атмосферы и ошибками приемника, можно считать, что момент прохождения радиоисточника через ДН по звездному времени  $s$ , исправленный за постоянную времени приемника  $\Delta t_{\tau}$ , равен видимому прямому восхождению  $\alpha_{\text{вид}}$  этого радиоисточника [3]:

$$s + \Delta t_{\tau} = \alpha_{\text{вид}} \quad (1)$$

Первые результаты координатных наблюдений на БПР приведены в [4—6]. Точность определения прямых восхождений характеризуется среднеквадратичной ошибкой от  $\pm 1^{\circ}0$  до  $\pm 10^{\circ}0$ . Улучшение методики подготовки радиотелескопа к наблюдениям привело к повышению точности определения прямых восхождений. В [3] для большинства радиоисточников значения  $\alpha$  определены со среднеквадратичной ошибкой  $\pm 0^{\circ}3$ . В этом случае единичное значение прямого восхождения находилось как среднее из четырех наблюдений, а затем уже по вновь образованному ряду оценивалась точность координатных определений. В [7] приведены значения прямых восхождений для 83 радиоисточников. Наибольшая точ-

ность была достигнута при наблюдении радиоисточника ЗС 273: компонента В была определена по прямому восхождению с вероятной ошибкой  $\pm 0^{\circ}.4$  (что соответствует среднеквадратичной ошибке  $\pm 0^{\circ}.15$ ) [8]. Во всех перечисленных сериях наблюдений координаты определялись по опорным объектам, причем для каждого радиоисточника выбирался такой опорный объект, чтобы разность их склонений была минимальной. Это делалось для того, чтобы перемещения отражающих элементов и вторичного зеркала также были минимальными. Антенна не переставлялась до тех пор, пока не кончались наблюдения каждого конкретного радиоисточника. Применение такой методики при всех ее достоинствах снижает эффективность использования БПР во времени и не позволяет с достаточной точностью определять координаты радиоисточников со склонениями, значительно отличающимися от склонений опорных объектов. Повысить гибкость этого метода можно путем учета изменений положения ДН радиотелескопа при больших перемещениях вторичного зеркала и отражающих элементов, т. е. при независимых установках БПР. При этом появляется возможность выполнять абсолютные координатные определения. Рассмотрению данного вопроса и посвящена настоящая работа.

Положение ДН БПР определяется геометрической осью антенны переменного профиля (АПП), т. е. линией, проходящей через середину антенны и центр исходной окружности радиотелескопа, и задним фокусом вторичного зеркала БПР. Если геометрическая ось АПП лежит в плоскости меридиана, а задний фокус вторичного зеркала находится на оси АПП, то выполняется равенство (1). При повороте ДН относительно меридиана на угол  $a$  момент прохождения радиоисточника через ДН изменяется на величину  $\delta s$ . Для установления зависимости между величинами  $a$  и  $\delta s$  рассмотрим отражение луча, идущего от радиоисточника  $\sigma$ , плоским элементом, расположенным на оси АПП (рис. 1). Отражающий элемент наклонен на угол  $\beta$ , причем  $\beta$  выбирается так, чтобы зенитное расстояние точки  $\sigma'$  (или отраженного луча) равнялось  $90^{\circ}$ . По условию отражения  $\angle \sigma \sigma_m = \angle \sigma_m \sigma'$ . Из сферических треугольников  $\sigma Z \sigma_m$  и  $S \sigma_m \sigma'$  с учетом равенства углов  $\angle \sigma \sigma_m Z$  и  $\angle S \sigma_m \sigma'$  следует

$$\sin a = \sin a \sin z, \quad (2)$$

а из сферического треугольника  $\sigma Z P$

$$\sin z = \cos \delta \sin t / \sin a. \quad (3)$$

После подстановки (3) в (2) получим

$$\sin a = \sin t \cos \delta. \quad (4)$$

Для рассматриваемого случая, когда  $a$  и  $t$  малы, учитывая, что  $t = \delta s$  (или  $24^h - t = \delta s$ ), и выражая величину  $\delta s$  в секундах времени, с достаточной степенью точности можно считать

$$\delta s = a / 15 \cos \delta, \quad (5)$$

где  $a$  — угол поворота ДН в секундах дуги,  $\delta$  — склонение радиоисточника.

Известно, что при смещении фокуса в радиотелескопах рефлекторного типа геометрическая ось и ДН телескопа поворачиваются на разные углы. В [9, 10] приведены графики отношений углов поворота ДН и геометрической оси (коэффициентов девиации  $\partial$  [10]) в зависимости от величины  $F/R$ , где  $F$  — фокусное расстояние радиотелескопа,  $R$  — радиус раскрытия антенны. Для БПР эти данные могут быть использованы только в первом приближении, так как распределение поля в раскрытии АПП может су-

щественно отличаться от распределения в раскрыве сплошных антенн в виде параболоидов вращения. Расчет коэффициента девиации для БПР можно сделать из следующих геометрических соображений. Пусть фокус БПР сместился из точки  $B$  в точку  $C$  (рис. 2). Это вызовет поворот отраженного от центрального щита луча на угол  $a_0 = BC/r_0$ , где  $r_0 = F$ . Луч, отраженный от щита  $i$ , сместится на угол  $a_i = (BC \cdot \cos \Psi_i)/r_i$ , который меньше угла  $a_0$ , так как  $BC \cdot \cos \Psi_i < BC$  и  $r_i > r_0$ . Здесь  $\Psi_i$  — угол из фокуса БПР между осью АПП и направлением на щит  $i$ ,  $r_i$  — радиус-вектор щита  $i$ . Так как вклад щитов в формирование радиоизображения убывает с увеличением  $\Psi_i$ , то угол поворота ДН будет равен:

$$a = \left[ q \sum_{i=1}^n (p_i \cos \Psi_i) / r_i \right] : \left( \sum_{i=1}^n p_i \right), \quad (6)$$

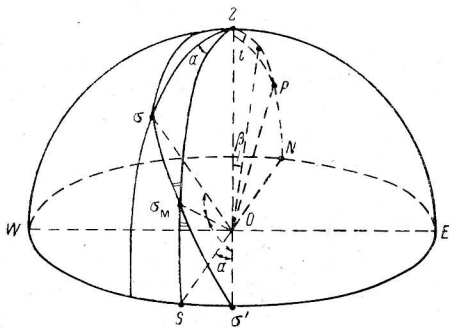


Рис. 1. Зависимость между величинами  $a$  и  $\delta$ .

$O$  — центр отражающего элемента,  $Z$  — точка зенита,  $P$  — полюс мира,  $\beta$  — угол наклона отражающего элемента,  $\sigma O$  — падающий луч,  $O\sigma'$  — отраженный луч,  $t$  — часовой угол радиостанции  $\sigma$ ,  $\sigma_m$  — точка пересечения дуги большого круга  $\sigma\sigma'$  с меридианом,  $\sigma P = 90^\circ - \delta$ .

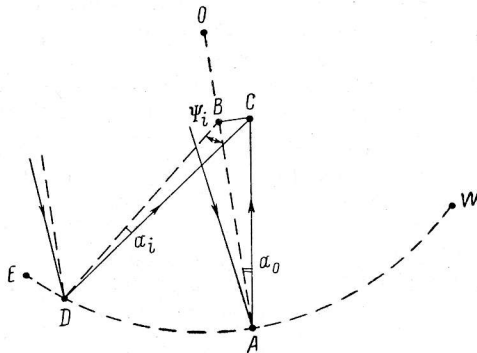


Рис. 2. Определение коэффициента девиации.

$O$  — центр БПР,  $OA$  — ось АПП,  $BC$  — смещение фокуса,  $AB = r_0$ ,  $BD = r_i$ ,  $\Psi_i$  — полярный угол,  $EAW$  — горизонтальное сечение АПП,  $EW$  — «диаметр» антенны.

где  $p_i$  — весовой коэффициент, пропорциональный количеству энергии, отраженной щитом  $i$ ;  $q$  — смещение фокуса радиотелескопа в линейной мере. Коэффициент девиации определится тогда как  $\delta = a/a_0$ .

Все факторы, влияющие на положение ДН Большого пулковского радиотелескопа по азимуту, по характеру их изменения можно разделить на короткопериодические и долгопериодические. Первые носят ярко выраженный случайный характер и в основном определяют разброс результатов наблюдений. Вторые проявляются лишь при длительных наблюдениях одного и того же радиостанции, а при кратковременных наблюдениях действуют как невыявленные систематические ошибки. К этой группе относятся: ошибки определения астрономического азимута геометрической оси АПП —  $a(\alpha, \delta)$ ; ошибки, обусловленные изменением положения знаков, закрепляющих ось АПП на площадке радиотелескопа, —  $a(S, N)$ ; ошибки определения положения центра исходной окружности БПР —  $a(x, y)$ ; ошибки, связанные с определением мест нулей (МО) отсчетно-установочных шкал отражающих элементов или с их изменением во времени, —  $a(MO)$ ; и, наконец, ошибки, вызванные разновысотностью угломестных осей щитов, —  $a(H)$ .

Для определения азимута оси АПП Большого пулковского радиотелескопа может быть применен любой стандартный способ. В случае определения астрономического азимута по часовому углу Полярной по про-

грамме астроопределений I класса [11] среднеквадратичная ошибка азимута не будет превышать  $\pm 0''.5$ , т. е.  $m_{a(x, \delta)} < \pm 0''.5$ . Значительно большую ошибку вызывают смещения знаков, закрепляющих ось АПП. Ориентировочно можно принять, что  $m_{a(S, N)} \leq \pm 3''.0$ . Эта ошибка проявляется при установке закрытого конца волновода в меридиан и при определении МО радиоастрономическим методом [12]. Положение центра исходной окружности определяется по разностям расстояний от центра БПР до геодезических знаков, расположенных концентрично исходной окружности [13]. Так как на положение оси радиотелескопа оказывает влияние только поперечный сдвиг центра, т. е. сдвиг в плоскости первого вертикала, то при вычислении этого сдвига за начальный следует принять один из геодезических знаков, закрепляющих ось АПП. В этом случае значение поперечного сдвига вычисляется с наибольшим весом. Для случая, рассмотренного в [13],  $m_{a(x, y)} = \pm 0''.5$ . Ошибка  $a(x, y)$  оказывает влияние при установке радиотелескопа по данным геодезической [13] или автоколлимационной [14] юстировок. В связи с тем что МО радиальных шкал отражающих элементов определяются с конечной точностью, ошибки МО могут вызвать как бы смещение центра БПР и поворот оси АПП. Ошибки МО действуют аналогично ошибке  $a(x, y)$ . При среднеквадратичных ошибках определения МО радиальных шкал менее  $\pm 0.3$  мм для геодезического и менее  $\pm 0.1$  мм для радиоастрономического и автоколлимационного способов положение оси АПП по азимуту будет характеризоваться ошибками  $m_{a(\text{МО}) \text{ геод}} < \pm 0''.2$ ,  $m_{a(\text{МО}) \text{ ра, ак}} < \pm 0''.1$ . Подобным же образом влияют ошибки МО радиальных шкал, появляющиеся в результате сезонных смещений фундаментов отражающих элементов.

При проведении координатных наблюдений в периоды наибольшей устойчивости фундаментов ошибка в положении оси по азимуту не превысит  $\pm 0''.3$ . То обстоятельство, что угломестные оси отражающих элементов установлены с какой-то ошибкой относительно горизонтальной плоскости, может привести к тому, что положение угломестных осей будет аппроксимироваться плоскостью, имеющей наклон в направлении восток—запад. Для конкретного случая, рассмотренного в [15], погрешности в положении отражающих элементов по высоте приводят к ошибке  $m_{a(H)} = \pm 1''.1$ .

Таким образом, суммарная ошибка положения оси радиотелескопа по азимуту, вызванная перечисленными выше факторами, при длительных наблюдениях будет равна  $\pm 3''.3$ . Основной вклад в эту величину вносит ошибка  $a(S, N)$ , ее можно снизить до  $\pm 0''.6$ , если увеличить расстояние между знаками, закрепляющими ось АПП, до 100 м. В этом случае суммарная ошибка положения оси БПР по азимуту будет равна  $\pm 1''.5$ . При коэффициенте девиации  $\delta \approx 0.9$  видимое прямое восхождение определяется из одного наблюдения со среднеквадратичной ошибкой  $m_{a \text{ вид}} = \pm 0''.09 / \cos \delta$ .

К короткопериодическим факторам, влияющим на поворот ДН, относятся ошибки установки и ориентирования вторичного зеркала и ошибки установки отражающих элементов. На положение ДН радиотелескопа будут влиять следующие ошибки, связанные с установкой вторичного зеркала: ошибка установки открытого конца волновода (первичного облучателя) в створ оси АПП —  $a(f_1)$ , разворот вторичного зеркала относительно первого вертикала —  $a(\nu)$  и наклон вторичного зеркала в плоскости первого вертикала —  $a(u)$ . Точность выставления в меридиан первичного облучателя БПР в зависимости от применяемого метода характеризуется среднеквадратичной ошибкой  $\pm 0.2$  мм или  $\pm 1.0$  мм. При  $r_0 = 50$  м будем иметь  $m_{a(f_1)}$  соответственно  $\pm 0''.8$  или  $\pm 4''.0$ . Разворот вторичного зеркала относительно первого вертикала на угол  $\nu$ , когда первичный облучатель установлен в меридиан, приводит к смещению заднего фокуса вторичного зеркала на величину

$$q = \nu \cdot 2f, \quad (7)$$

где  $f$  — фокусное расстояние вторичного зеркала. Если принять, что  $\nu = \pm 3'$ , то при  $r_0 = 50$  м  $m_{a(\nu)} = \pm 7''/4$ . Наклон вторичного зеркала в плоскости первого вертикала в первом приближении аналогичен развороту несколько деформированного зеркала. Поскольку вторичное зеркало горизонтируется по уровню с ценой деления не превышающей  $60''$ , можно считать, что ошибка горизонтирования не превышает  $\pm 10''$ . Если для простоты предположить, что наклон любой образующей влияет с одинаковым весом, то наклон в  $10''$  эквивалентен развороту в  $7''$ , т. е. при  $r_0 = 50$  м  $m_{a(\omega)} < \pm 0''/3$ .

Ошибки в установке отражающих элементов БПР на конкретный радиостанчик —  $a(l)$  — влияют подобно ошибке  $a$  (МО). При установке пифов БПР десятые доли миллиметра по радиальным шкалам оцениваются на глаз. Теоретическая среднеквадратичная ошибка в этом случае равна  $\pm 0.1/2\sqrt{3}$  мм, однако практически она оказывается близкой к  $\pm 0.1$  мм, что соответствует  $m_{a(l)} \pm 0''/1$ .

Влияние атмосферы и ошибок приемника оценено в [16]. При наблюдении достаточно сильных радиостанчиков влияние атмосферы вызывает изменение момента прохождения со среднеквадратичной ошибкой от  $\pm 0.03$  до  $\pm 0.30$ , а ошибки приемника  $\pm 0''/10$ .

Таким образом, суммарное влияние короткопериодических факторов на точность определения прямых восхождений характеризуется среднеквадратичной ошибкой  $m_{a \text{ вид}} = \pm 0''/54/\cos \delta$ . Причем наиболее ощутимую погрешность вносят ошибки  $a(f_1)$ ,  $a(\nu)$ , турбулентность атмосферы и ошибки приемника. Два последних фактора в каждом конкретном случае определенным образом лимитируют точность радиоастрометрических наблюдений.

Для того чтобы проверить возможность снижения ошибки установки вторичного зеркала, в июле—августе 1971 г. на Большом пулковском радиотелескопе был проведен соответствующий эксперимент. Было решено ошибку выставления первичного облучателя в меридиан снизить до возможного минимума, а разворот вторичного зеркала относительно первого вертикала измерять и учитывать путем введения поправок в момент прохождения радиостанчика через ДН радиотелескопа. Ось АПП (условный меридиан) была закреплена на площадке БПР туго натянутой стальной проволокой (струной) диаметром 0.5 мм, длиной 30 м, проходящей в 10 см над поверхностью земли. При помощи оптического отвеса, жестко связанного с первичным облучателем, последний устанавливался по струне в меридиан со среднеквадратичной ошибкой не превышающей  $\pm 0.2$  мм. Угол между образующими вторичного зеркала и осью АПП в начале эксперимента был измерен теодолитом по схеме, приведенной на рис. 3, а в дальнейшем измерялись лишь колебания этого угла. Для этого вторичное зеркало было оснащено теодолитом и визирной маркой. Линия, проходящая через центр марки и вертикальную ось теодолита, была параллельна образующим зеркала. Среднеквадратичная ошибка определения угла  $\nu$  не превышает  $\pm 10''$ . Смещение заднего фокуса вторичного зеркала, обусловленное наличием угла  $\nu$ , вычислялось по формуле (7), поворот ДН радиотелескопа — по формуле (6), а поправки в момент прохождения радиостанчика через ДН — по формуле (5). Наблюдался радиостанчик Краб А [7], обладающий большим отношением сигнала к шуму, с высотой над горизонтом в момент кульминации, равной  $52^\circ 14'$ . Наблюдения были проведены с 8 июля по 4 августа 1971 г. при помощи приемника на туннельных диодах с параметрическими усилителями на входе [17] на волне 3.9 см. Чувствительность приемника  $\Delta T_{\text{ш}} = 0.03$  °К при постоянной времени  $\tau = 1^{\text{с}}$ . Приемник имеет два рупора (первичных облучателя), расположенных на фокальной линии вторичного зеркала. Расстояние между ними

равно 300 мм. Когда один из рупоров установлен в меридиане, другой направлен в соседний участок неба. Такой режим работы был выбран в целях уменьшения влияния шумов атмосферы. Прохождение радиосточника через ДН регистрировалось на самописце при скорости протяжки ленты 6 мм/сек. Такая скорость позволила одновременно с записью радиосточника впечатывать на ленту секундные метки времени. Момент прохождения радиосточника через ДН радиотелескопа (момент кульминации) определялся по средней линии радиоизображения на ленте самописца, проведенной по нескольким точкам выше уровня 0.5  $T_d$ . Среднеквадратичная ошибка такого определения меньше 0.1. Влияние нестабильности усиления данного приемника на точность определения координат рассматривалось в [16], где было показано, что этим влиянием можно пренебречь. Шумы данного приемника дают ошибку в прямом восхождении менее  $\pm 0.06$ . Флуктуации угла прихода радиоволн для радиосточника Краб А по данным [16] вносят погрешность в прямое восхождение порядка 0.01—0.10.

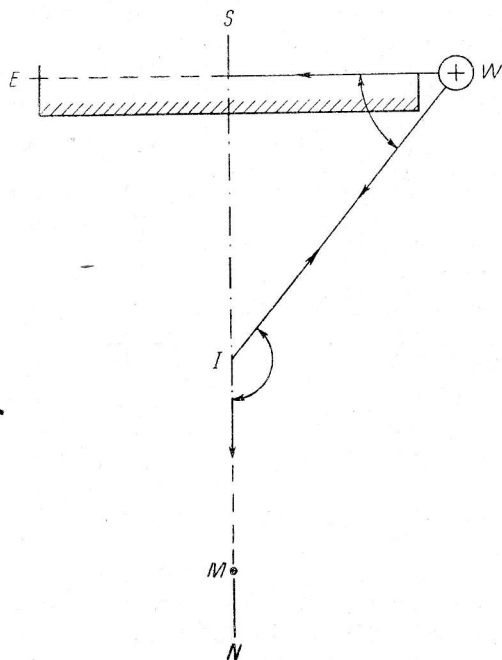


Рис. 3. Схема определения угла разворота вторичного зеркала.

SN — линия север—юг, W — теодолит на вторичном зеркале, E — визирная марка на вторичном зеркале, I и M — знаки, закрепляющие ось АПП. Стрелками показаны измеряемые направления и углы.

Вычислены на ЭВЦМ Минск-22. Сразу же обнаружилась статистическая связь между величинами  $t'_i = (s_{\text{набл}} - \alpha_{\text{вид}})_i$  и  $v_i$ . На рис. 4, а показано поле точек с координатами  $v_i$  и  $t'_i$ . Эти точки довольно тесно группируются вокруг определенного направления. Коэффициент корреляции равен  $-0.81$ , а его утроенная среднеквадратичная ошибка  $\pm 0.27$ . При небольшом количестве точек  $(v_i, t'_i)$  такие значения довольно убедительно подтверждают наличие связи. Вычисленный коэффициент уравнения регрессии соответствует коэффициенту девиации  $\delta = 0.86$ . Среднеквадратичная ошибка величин  $t'_i$ , вычисленная по отклонениям от среднего, оказалась равной  $\pm 0.54$ . Для вычисления поправок  $\delta s_i$  в моменты прохождений радиосточника через ДН значения распределения поля в раскрыве антенны были взяты из [18—20] и, кроме того, вычислены по диаграмме направленности первичного облучателя, снятой экспериментально. Таким образом было получено несколько рядов величин  $t_i = (s_{\text{набл}} + \delta s - \alpha_{\text{вид}})_i$ , причем коэффициенты девиации колебались от 0.855 до 0.915. Среднеквадратичная ошибка, характеризующая колебания величин  $t_i$ , вычислялась по ряду, полученному при  $\delta = 0.915$ , так как в этом случае следовало

меньше 0.1. Влияние нестабильности усиления данного приемника на точность определения координат рассматривалось в [16], где было показано, что этим влиянием можно пренебречь. Шумы данного приемника дают ошибку в прямом восхождении менее  $\pm 0.06$ . Флуктуации угла прихода радиоволн для радиосточника Краб А по данным [16] вносят погрешность в прямое восхождение порядка 0.01—0.10.

Всего было зарегистрировано 17 прохождений, пригодными для определения моментов кульминаций оказались 13. Средний угол разворота вторичного зеркала относительно первого вертикала для моментов прохождений, принятых в обработку, равен  $+14.7$ , а среднеквадратичная ошибка, характеризующая его колебания,  $\pm 2.7$ .

Моменты прохождения радиосточника через ДН  $(s_{\text{набл}})_i$  сравнивались с видимыми прямыми восхождениями  $(\alpha_{\text{вид}})_i$  на дату наблюдения. Величины  $\alpha_{\text{вид}}$  были

ожидать несколько худшей точности по сравнению с рядом при  $\vartheta=0.855$ . Эта ошибка оказалась равной  $\pm 0^{\circ}31$ , т. е. введение поправок за разворот вторичного зеркала улучшило сходимость результатов независимых

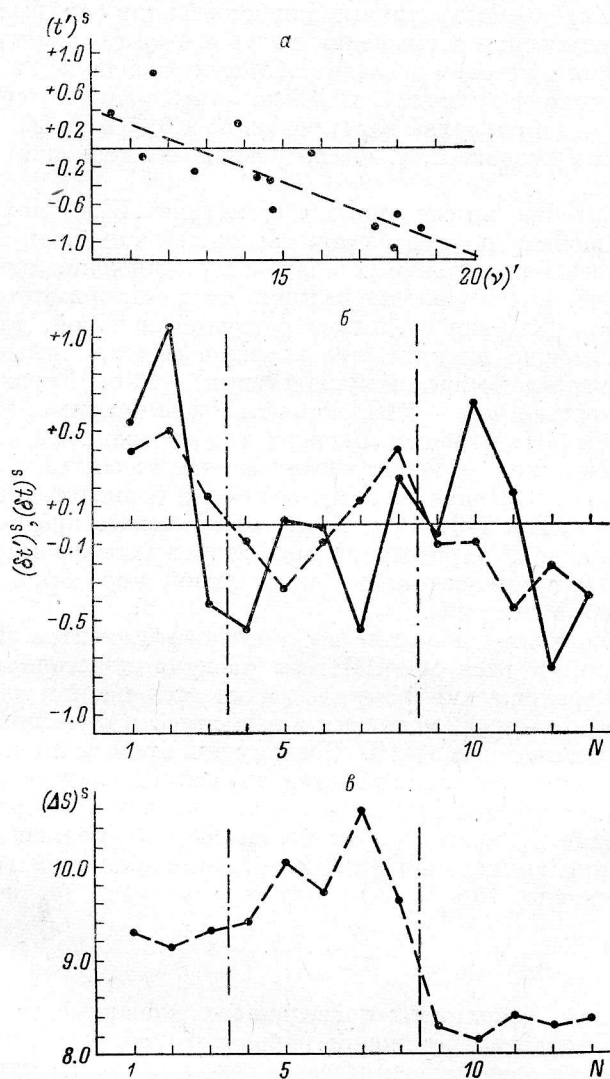


Рис. 4. Основные результаты наблюдений.

*a* — связь между величинами  $t'$  и  $v$  (по оси абсцисс отложены значения угла  $v$  в минутах дуги, по оси ординат —  $t'$  в секундах времени, прерывистой прямой показана линия группирования величин  $t'$ , определенная по способу наименьших квадратов); *б* — графики величин  $\delta t'$  (сплошная ломаная линия) и  $\delta t$  (пунктирная линия); по оси абсцисс отложены номера наблюдений, по оси ординат — величины  $\delta t'$  и  $\delta t$  в секундах времени; *в* — интервалы времени  $\Delta s$  прохождения радиоисточника через два первичных облучателя (по оси абсцисс отложены номера наблюдений  $N$ , по оси ординат — величины  $\Delta s$  в секундах времени).

На графиках *б* и *в* вертикальными штрих-пунктирными линиями показано деление результатов наблюдений на группы.

наблюдений в 1.7 раза. На рис. 4, б показаны отклонения величин  $t'$  и  $t$  от соответствующих средних. При оценках среднеквадратичных ошибок не были учтены следующие два обстоятельства, нарушившие чистоту эксперимента: между третьим и четвертым наблюдениями была заменена

струна, а между восьмым и девятым во время профилактического осмотра приемника сдвигались первичные облучатели. Это привело к тому, что весь ряд разбился на три группы, каждая со своим центром рассеяния. Поэтому оценка среднеквадратичных ошибок величин  $t$  и  $t'$  была выполнена способами, учитывающими смещения центров группирования: по размахам варьирования и методом последовательных разностей [21, 22]. Среднеквадратичные ошибки величин  $t$  и  $t'$  оказались равными соответственно  $\pm 0^{\circ}23$  и  $\pm 0^{\circ}58$  — по размахам варьирования,  $\pm 0^{\circ}20$  и  $\pm 0^{\circ}49$  — по методу последовательных разностей, т. е. среднеквадратичная ошибка уменьшилась в 2.5 раза.

Влияние факторов, не связанных с геометрией БПР, можно в первом приближении оценить по колебаниям разностей моментов прохождений  $\Delta s$  через два соседних первичных облучателя. Значения этих разностей приведены на рис. 4, в. Колебания величин  $\Delta s$  характеризуются оцененной по размахам варьирования среднеквадратичной ошибкой, равной  $\pm 0^{\circ}26$ . Следовательно, можно принять, что внешние факторы вызвали погрешность в определении моментов кульминации  $\pm 0^{\circ}18$ . Другими словами, с большей точностью, чем  $\pm 0^{\circ}18$ , моменты кульминации в этом эксперименте определены быть не могли. Эксперимент проводился в неблагоприятных метеорологических условиях: была значительная облачность, часто шли дожди с грозами. Кроме того, кульминация радиосточника приходилась на утренние часы ( $10-11^h$ ). Ввиду этого можно предположить, что основная погрешность определения моментов прохождений радиосточника через ДН радиотелескопа в значительной мере была обусловлена нестабильностью атмосферы.

При использовании в качестве весовых коэффициентов значений распределения поля в раскрыве АПП из различных источников стабильность моментов прохождения практически остается одной и той же. Однако значения  $t_{cp} = (s + \delta s - \alpha_{вид})_{cp}$  меняются в зависимости от величины коэффициента девиации в пределах  $\pm 0^{\circ}10$ . Поэтому при проведении координатных измерений необходимо довольно точно знать распределение поля в раскрыве АПП. Если по каким-либо причинам нет точных данных о распределении поля, то значение  $t_{cp}$  можно найти по способу наименьших квадратов. В этом случае для вычисления величины  $t_{cp}$  с наибольшим весом должно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^n v_i \rightarrow 0. \quad (8)$$

Таким образом, результаты проведенного эксперимента показывают, что повышение точности установки первичного облучателя в меридиан за счет применения оптического отвеса в совокупности со струной и учет разворота вторичного зеркала позволяют определять прямые восхождения радиосточников со среднеквадратичной ошибкой, не превышающей  $\pm 0^{\circ}3$ , отнесенной к одному наблюдению.

#### Литература

1. С. Э. Хайкин и др., Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 164, 3, 1960.
2. Ю. Н. Парицкий, С. Э. Хайкин. Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 164, 27, 1960.
3. В. Я. Гольнев, Ю. Н. Парицкий, Астрон. ж., 42, вып. 2, 305, 1965.
4. В. М. Захаренков и др., Астрон. ж., 40, вып. 2, 216, 1963.
5. Н. Ф. Рыжков и др., Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 172, 25, 1964.
6. Н. В. Быстрова и др., Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 177, 73, 1964.
7. Ю. Н. Парицкий, В. Я. Гольнев, Н. М. Липовка, Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 182, 163, 1967.
8. Н. М. Липовка, Астрон. ж., 45, вып. 5, 1122, 1968.
9. Г. З. Айзенберг. Антенны ультракоротких волн. Связьиздат, М., 1957.



10. Сканирующие антенные системы СВЧ. Перев. с английского под ред. Г. Т. Маркова и А. Ф. Чаплина, Изд-во «Советское радио», М., 1965.
11. Справочник геодезиста. Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука, Изд-во «Недра», М., 1966.
12. Г. Б. Гельфрейх, Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 188, 139, 1972.
13. Ю. К. Зверев, А. И. Копылов, О. Н. Шиврис, Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 185, 219, 1970.
14. Н. Ходжамухаммедов, А. А. Стоцкий, В. Н. Боровик, Радиотехника и электроника, 2, 257, 1970.
15. О. А. Голубчина и др., наст. сборник, стр. 157.
16. Н. М. Липовка, А. А. Стоцкий, Изв. Глав. астрон. obs. в Пулкове, № 188, 238, 1972.
17. А. Б. Берлин, Д. В. Корольков, Г. М. Тимофеева, Приборы и техника эксперимента, № 3, 146, 1969.
18. Г. Б. Гельфрейх, В. М. Спитковский, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1, 82, 1970.
19. В. М. Спитковский, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 2, 159, 1970.
20. В. М. Спитковский, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 2, 174, 1970.
21. Н. В. Смирнов, Д. А. Белугин. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. Изд-во «Недра», М., 1969.
22. Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. Таблицы математической статистики. Изд-во «Наука», М., 1965.

Декабрь 1971 г.