

ВАРИАНТ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ РАДИОТЕЛЕСКОПА РАТАН-600

Ю. К. Зверев

Приводится описание и результаты практического применения геодезического метода угловой засечки для юстировки южного сектора кругового отражателя радиотелескопа РАТАН-600. Данный метод позволяет определить радиальное положение щитов со средней квадратической ошибкой 0.16 мм, что вполне достаточно для обеспечения радиоастрономических наблюдений на волнах ≥ 2 см.

The description and the results of practical application of geodetic angular intersection method for the adjustment of the South sector of the RATAN-600 radio telescope are presented. This method permits to determine the radial position of the elements of the South sector with the rms 0.16 mm, that is fully enough for the provision of the radioastronomical observations of the wavelength ≥ 2 cm.

Одним из важнейших этапов подготовки радиотелескопа РАТАН-600 к радиоастрономическим наблюдениям является выставление элементов кругового отражателя (антенны переменного профиля — АПП) в исходное положение и фиксация этого положения по шкалам отсчетно-установочных устройств (ОУУ), т. е. определение мест нулей (М0) шкал ОУУ.

В настоящее время эта операция выполняется радиотехническим [1], радиоастрономическим [2] и геодезическим [3] методами. При разработке и внедрении этих методов принимались во внимание и обыгрывались принципиальные особенности АПП, отмеченные в [4, 5]. Все три метода предусматривают наличие прямой видимости из центра радиотелескопа на любой элемент (щит) юстируемого сектора. Это условие не соблюдается на южном секторе кругового отражателя РАТАН-600: между центром радиотелескопа и южным сектором расположен плоский отражатель. Первоначально предполагалось, что для юстировки южного сектора плоский отражатель будет переводиться в нерабочее положение, при котором открывается видимость на юстируемые щиты [6]. Однако опыт показал, что после каждой такой операции требуется полная юстировка всего плоского отражателя, увеличивающая дефицит наблюдательного времени.

При определенном ограничении диапазона длин волн радиоастрономических наблюдений, например при $\lambda \geq 2$ см, где λ — длина волны, выход можно найти в использовании еще одной особенности АПП, применив известный геодезический метод угловых засечек [7]. Дело в том, что одним из аргументов, определяющих положение любого щита при радиоастрономических наблюдениях, является центральный угол между осью АПП и этим элементом. При радиальном перемещении щитов эти углы остаются неизменными [4]. Для радиотелескопа РАТАН-600 они кратны 24 минутам дуги со ср. кв. ошибкой порядка 2". Таким образом, положение каждого щита по одной угловой координате (α) с определенной точностью можно считать заданным. (В процессе монтажных работ задние домкраты опорных балок отражающих элементов [6] были выставлены в проектное по азимуту положение со ср. кв. ошибкой < 1.5 [8], однако после установки самих элементов точность азимутального положения снизилась.)

Если теперь направление из центра радиотелескопа на какой-либо щит, видимость на который все-таки имеется, принять за начальное и из точки, вы-

бранной на этом направлении на расстоянии R от центра, откладывать углы γ_i :

$$\gamma_i = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha_i}{2},$$

то окажется заданной и вторая угловая координата для любого щита с номером i . Таким образом, юстируемые щиты будут находиться на окружности выбранного радиуса R , если их положение определяется пересечением направлений α и $\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}$.

В качестве исходных точек удобно использовать пункты опорной геодезической сети РАТАН-600 [9], расположенные на окружности с радиусом 288 м через 30° , начиная от направления с азимутом 0° . Процесс юстировки состоит из выставления щитов на окружность по углам γ_i и последующего уточнения радиального положения щитов путем многократного измерения этих углов, в результате чего определяется поправка в радиальное положение щитов δR .

На рис. 1 показана геометрия определения поправок δR для нахождения радиальных МО. Из треугольника со стороной X , углами $\delta\gamma$ и $\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}$ следует:

$$\delta R = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta\gamma / \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \delta\gamma \right),$$

где $\delta\gamma$ — разность между расчетным и измеренным значениями угла γ , т. е. $\delta\gamma = \gamma_{\text{расч}} - \gamma_{\text{изм}}$. Поскольку величины $\delta\gamma$ достаточно малы (обычно $< 20''$), то

$$\delta R = \frac{\delta\gamma}{\rho''} 2R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Ошибка от такого упрощения составляет ничтожно малую величину. Влияние ошибок углов $\delta\gamma$ и $\alpha/2$ на радиальное положение щитов выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} d(\delta R) &= -2R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \frac{\partial\gamma}{\rho''} - R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \frac{\partial\alpha}{\rho''} + \left\{ \frac{R}{\cos^2(\alpha/2)} \frac{\delta\gamma}{\rho''} \right\} \frac{\partial\alpha}{\rho''} = \\ &= -\frac{1}{\cos(\alpha/2)} \left\{ X \frac{\partial\gamma}{\rho''} + \frac{1}{2} X \frac{\partial\alpha}{\rho''} - \frac{\partial\gamma}{\rho''} \frac{\partial X}{\cos^2(\alpha/2)} \right\}, \end{aligned}$$

где ρ'' — число секунд в радиане; $\partial\gamma$ и $\partial\alpha$ выражены в секундах дуги.

Из последнего выражения видно, что углы α можно измерять в 2 раза грубее, чем γ , что допустимая погрешность определения значений X практически не зависит от их величины и влияние ее на точность юстировки мало. При ср. кв. ошибках измерения углов γ и α , равных соответственно 1 и $2''$, значения X , равном 50 м ($\alpha = 10^\circ$), и $R = 288$ м поправка в радиальное положение щита определяется со ср. кв. ошибкой 0.35 мм, т. е. довольно точно. Следовательно, рассмотренный способ может быть применен для определения радиальных МО щитов кругового отражателя.

В настоящее время для юстировки южного сектора применяется видеоизменный радиотехнический метод, сущность которого заключается в том, что щиты сектора выставляются на параболу. При этом в «поле зрения» облучателя попадает пять центральных групп щитов (125 щитов), четыре крайних группы (по две группы с каждой стороны сектора) остаются неохваченными радиотехнической юстировкой. При радиоастрономических наблюдениях в меридиане южным сектором кругового отражателя с плоским отражателем 5 центральных групп обеспечивают достаточную апертуру главного зеркала, однако при наблю-

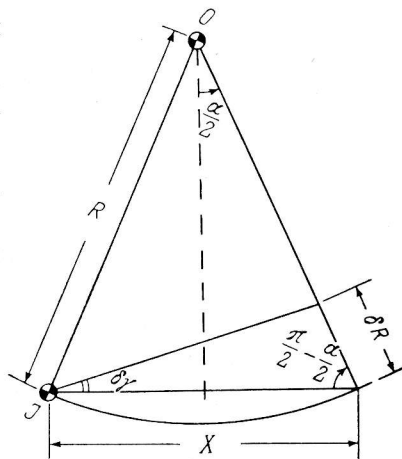


Рис. 1. Определение поправок δR в радиальное положение щитов.

O — центр радиотелескопа; J — геодезический пункт, расположенный на расстоянии R от центра O .

дении в азимутах в пределах $\pm 20^\circ$ относительно меридиана необходимо под- соединить крайние группы. В этом случае целесообразно применить описанный выше геодезический метод юстировки.

Схематически положение щитов южного сектора, юстируемых разными мето- дами, и положение пунктов опорной геодезической сети, от которых выполня- ется юстировка геодезическим методом, показано на рис. 2. Как видно из ри- сунка, основная часть измерений выполняется с геодезических пунктов № 5 и 7, при этом расстояния от них до юстируемых щитов, т. е. величины X , принимают значения от 2 до 74 м. Для нескольких щитов значения радиальных M_0 опреде- ляются обоими методами. Радиальное положение геодезических пунктов опре- деляется из линейных измерений со ср. кв. ошибкой порядка 0.3 мм [10].

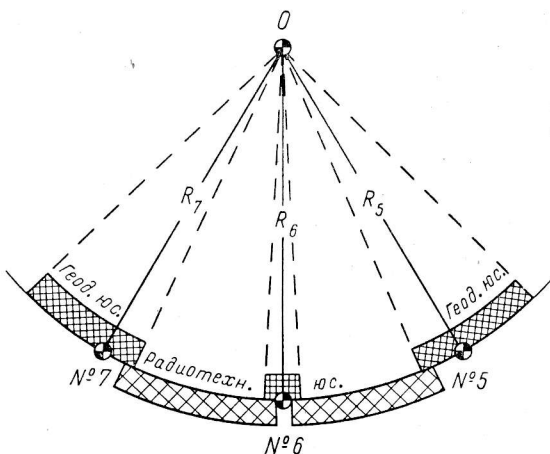


Рис. 2. Схема южного сектора.

O — центр радиотелескопа; № 5—7 — геодезические пункты; Геодез. юс. — щиты, юстируемые геодезическим методом; Радиотехн. юс. — щиты, юстируемые радиотехническим методом.

диальная ошибка, в свою очередь, складывается из ошибок определения M_0 , ошибок отработки вводимого задания (~ 0.05 мм) и ошибок исходных данных, т. е. ошибок измерения расстояний от центра радиотелескопа до геодезических пунктов (~ 0.3 мм). При таких значениях составляющих ср. кв. ошибка определения M_0 радиальных шкал m_{M_0} не должна превышать 0.34 мм. Если принять, что ошибки измерения углов γ и α должны оказывать одинаковое влияние на точность определения радиального положения щитов, то получается, что

$$m_R(\gamma) = m_R(\alpha) = \frac{m_{M_0}}{\sqrt{2}} = 0.24 \text{ мм.}$$

Однако в данном конкретном случае требования к точности угловых измерений могут быть несколько снижены. Дело в том, что при наблюдении в азимутах крайние щиты не используются вместе, поэтому ошибки исходных данных не будут влиять на точность поверхности, так как, взятые отдельно, они нейтрализуются уравниванием при подсоединении крайних групп к центральной части. В этом случае ср. кв. ошибка определения M_0 не должна превышать 0.45 мм, а величины $m_R(\gamma)$ и $m_R(\alpha)$ соответственно 0.32 мм.

Допустимые значения ср. кв. ошибок измерения углов γ с учетом ошибок исходных данных и без него, в зависимости от положения юстируемого щита, т. е. от α , показаны на рис. 3, а. Для случая использования южного сектора частями они изменяются от 11 до 0.9, причем, начиная с $\lambda/2 = 3^\circ 4'$, значения m_γ должны быть $< 2''$. Углы α достаточно измерять в 2 раза грубее.

На практике углы γ измерялись оптическим теодолитом ОТ-02 [7] следующим числом приемов: двумя — при $\alpha/2 \leq 2^\circ 4'$, тремя — при $2^\circ 6' \leq \alpha/2 \leq 4^\circ 8'$, четырьмя — при $\alpha/2 \geq 5^\circ 0'$. Оценка точности измерений выполнена по разма-

Расчет необходимой точности угловых измерений выполнен по схеме из [5] для длины волны $\lambda = 2$ см. Согласно работе [4], предельная допустимая ошибка отражающей поверхности рефлекторного радиотелескопа должна быть не более 0.1λ . С вероятностью 98 % ср. кв. ошибка в этом случае не будет превышать величины $0.1 \lambda/2.5$. Поскольку при наблюдениях южным сектором с плоским отражателем в работе участвует две отражающие поверхности примерно одинакового размера, ср. кв. ошибка поверхности сектора кругового отражателя должна быть $\leq 0.1 \lambda/2.5 \sqrt{2}$. Это суммарное значение складывается из ошибок поверхности щитов (~ 0.3 мм), ошибок установки щитов в расчетное положение по азимуту ($\sim 20''$), углу места ($\sim 20''$) и радиусу. Ра-

хам варьирования и по совокупности малочисленных выборок [11]: ср. кв. ошибка измерения угла одним приемом не превышает 1"5 и с вероятностью 95 % лежит в доверительном интервале 1"28—1"56. В соответствии с этим средние из двух, трех и четырех приемов значения углов определены со ср. кв. ошибками 1"1, 0"8 и 0"7 с доверительными интервалами 0"9—1"3, 0"7—1"0 и 0"6—0"8 (вероятность 95 %). Указанные доверительные интервалы, а также распределение размахов варьирования измеренных углов γ показаны на рис. 3. Вклад этих ошибок в суммарную погрешность радиальных М0 характеризуется значениями 0.07 мм ($\alpha/2 \leq 2^{\circ}4$), 0.16 мм ($2^{\circ}6 \leq \alpha/2 \leq 4^{\circ}8$) и 0.20 мм ($\alpha/2 \geq 5^{\circ}0$),

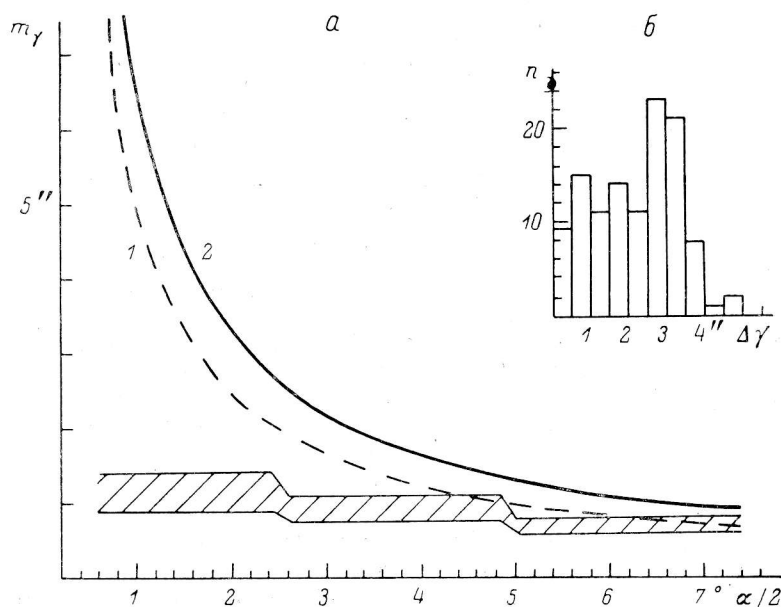


Рис. 3. Характеристика угловых измерений для определения радиальных М0.

a — расчетная точность измерения углов с учетом ошибок исходных данных (1) и без него (2) в зависимости от расположения щитов относительно геодезических пунктов; доверительные интервалы для ср. кв. ошибок измеренных углов γ ; b — распределение размахов варьирования измеренных углов γ .

или общей ср. кв. ошибкой $m_R(\gamma) = 0.14$ мм с доверительным интервалом 0.09—0.19 мм (вероятность 95 %). Распределение величин $\Delta R(\gamma)$:

$$\Delta R(\gamma) = \frac{\Delta\gamma}{\rho''} 2R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

где $\Delta\gamma = \gamma_{\max} - \gamma_{\min}$, приведенных к соразмерности двойных измерений, показано на рис. 4.

При определении углов α использовался метод, который можно назвать интерполяционным, когда из угловых измерений определяются углы для крайних щитов группы (α_I и α_{II}), а для щитов, занимающих промежуточное положение, значения α_i находятся как

$$\alpha_i = \frac{\alpha_{II} - \alpha_I}{L} l_i + \alpha_I,$$

где L — длина дуги между крайними щитами; l_i — длина дуги между «начальным» (I) щитом и щитом i . Величины L и l_i определяются по рулетке, натянутой по дуге окружности.

В этом случае ср. кв. ошибка определения углов α_i будет равна [12]

$$m_{\alpha_i} = m_{I, II} \sqrt{\left(1 - \frac{l_i}{L}\right)^2 + \left(\frac{l_i}{L}\right)^2},$$

где $m_{I, II}$ — ср. кв. ошибка измерения углов α_I и α_{II} .

При $m_{I, II} \leq 1''$ ср. кв. ошибка определения углов α_i , вычисленная по всей совокупности углов, оказывается равной 0,8, что при $R=288$ м приводит к радиальной ошибке

$$m_R(\alpha) = \frac{m_\alpha}{\rho''} R \sqrt{\frac{\sum \operatorname{tg}^2(\alpha/2)}{n}} = 0.08 \text{ мм.}$$

Таким образом, положение щитов относительно выбранных окружностей определено со ср. кв. ошибкой

$$m_{M0} = \sqrt{m_R^2(\gamma) + m_R^2(\alpha)} = 0.16 \text{ мм,}$$

что меньше требуемого значения даже при учете ошибок исходных данных.

Переход от окружностей разных радиусов к окружностям мест нулей, так называемой окружности мест нулей, осуществлен с использованием результатов эталонирования радиальных винтов, выполненного радиотехническим методом [1, 13]. Искомые величины $M0$ определяются как

$$\left. \begin{aligned} M0 &= (R) + 6\Delta R + k\delta_{I} \\ M0 &= (R) - 6\Delta R - k\delta_{II} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} (R) < M0; \\ (R) > M0, \end{aligned}$$

где (R) — отсчеты по шкалам радиальных ОУУ в момент юстировки; ΔR — радиальное приращение для перемещения щитов на окружность мест нулей; δ_I и δ_{II} — радиальные поправки для минимальной и максимальной окружностей [13]; k — интерполяционный множитель.

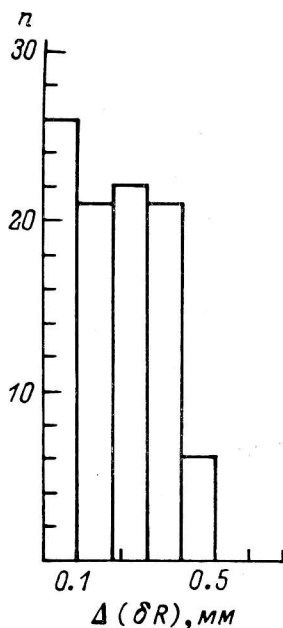
Как уже указывалось выше, для нескольких щитов значения радиальных $M0$ были определены двумя методами. Сравнение между собой этих величин позволяет определить взаимное положение окружностей геодезических и радиотехнических $M0$. Так, если ΔR_i — разности мест нулей, то, используя уравнения поправок вида

$$x(1 - \cos \varphi_{i-1}) + y \sin \varphi_{i-1} + z - \Delta R_i = v_i,$$

где $x = e \cos \theta$; $y = e \sin \theta$; e и θ — элементы смещения центра; φ — текущая угловая координата [14], можно найти необходимые неизвестные и получить

$$M0 = M0_r - (\Delta R + v),$$

Рис. 4. Распределение величин ΔR (γ), приведенных к соразмерности двойных измерений.



значения $M0$ в единой системе, например в системе радиотехнической юстировки. В этом случае

$M0_r$ — геодезические места нулей. Для юстировки 1984 г. положение центра радиотехнических $M0$ относительно геодезического центра определяется следующими величинами: $e=78.55$ мм, $\theta=347^\circ 42' 4$ относительно направления на щит № 88.

Наличие поправок v к разностям $M0$ обусловлено ошибками измерений при геодезической и радиотехнической юстировках, систематическими ошибками, присущими этим двум методам, а также ошибками радиального положения пунктов опорной геодезической сети. Ср. кв. ошибка, характеризующая разброс величин v по юстировкам разных лет, принимает значение 0.7—0.9 мм. На рис. 5 показаны значения поправок v для 1983 и 1984 гг. Обращает на себя внимание, что графики v близки по форме. Этот факт подтверждается значением коэффициента корреляции, равным 0.89 при доверительном интервале 0.64—0.97 (по уровню вероятности 95 %). При этом критическое значение коэффициента корреляции, при котором еще принимается нулевая гипотеза, равно 0.57, т. е. оказывается меньше нижней границы доверительного интервала. Довольно удовлетворительная стабильность поправок v (их разность характеризуется ср. кв. ошибкой $m_{\Delta v} = 0.44$ мм) может быть объяснена такими специфическими

погрешностями, как ошибки поверхности вторичного зеркала при радиотехнической юстировке, ошибки привязки отражающей поверхности к представительным площадкам [6], являющимися базой при выполнении геодезической юстировки, систематической разностью определения исходного положения щитов по углу места двумя методами [45]. Поэтому разности соответствующих значе-

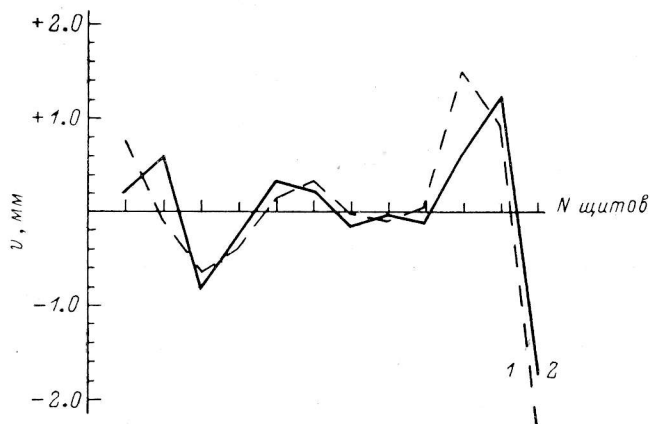


Рис. 5. График поправок v , полученных по юстировкам 1983 (1) и 1984 гг. (2).

ний v , полученных из юстировок разных лет, будут в основном определяться случайными ошибками измерений. Если предположить, что геодезические и радиотехнические измерения равноточны и ошибки измерений независимы, то точность радиальной юстировки как радиотехническим, так и геодезическим методом будет характеризоваться ср. кв. ошибкой $m_{\Delta s}/2$, т. е. величиной порядка 0.2 мм, что близко к полученным выше значениям.

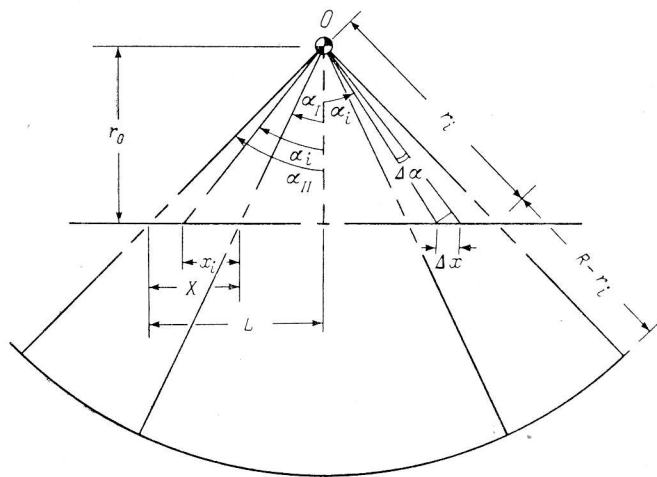


Рис. 6. Геометрия выноса проектных направлений.

O — центр радиотелескопа; R — радиус исходной окружности; r_0 — кратчайшее расстояние от центра радиотелескопа до плоского отражателя; r_i — расстояние от центра радиотелескопа до любой точки плоского отражателя; $\Delta\alpha$ — ошибка выноса проектного направления; Δx — линейная ошибка вынесенного направления.

Отсутствие видимости на центр радиотелескопа потребовало видоизменения и методики определения азимутальных МО. Один из вариантов — вынесение проектных направлений для юстируемых щитов на верхний край плоского отражателя, выставленного вертикально. Эта операция выполняется из центра радиотелескопа, а для определения азимутальных МО юстируемый щит ориентируется относительно марки, закрепляющей соответствующее проектное направление.

При выносе направлений также использовался метод интерполяции. Геометрия выноса показана на рис. 6. Если X — длина отрезка между начальным

(α_I) и конечным (α_{II}) направлениями, то положение промежуточного (α_i) направления определяется длиной x_i :

$$x_i = X \frac{\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg} \alpha_I}{\operatorname{tg} \alpha_{II} - \operatorname{tg} \alpha_I}.$$

Влияние ошибок выноса на точность определения азимутальных МО можно оценить из следующих соображений. Если $\Delta\alpha$ — ошибка выносимого проектного направления (рис. 6), то смещение точки, фиксирующей это направление, будет равно

$$\Delta x = \frac{\Delta\alpha}{\rho''} \frac{r_0}{\cos^2 \alpha_i},$$

где r_0 — расстояние от центра радиотелескопа до плоского отражателя. Для РАТАН-600 $r_0 \approx 0.36 R$, поэтому ошибка в определении азимутального МО будет равна

$$\Delta MO = \Delta\alpha \frac{1}{2.8 \cos \alpha_i - 1}.$$

С учетом влияния исходных данных, т. е. ошибок измерения углов α_I и α_{II} , оказывается:

$$\Delta MO = \left\{ \Delta\alpha_I \left(1 - \frac{x_i}{X} \right) + \Delta\alpha_{II} \left(\frac{x_i}{X} \right) \right\} \frac{1}{2.8 \cos \alpha_i - 1}.$$

При точности угловых измерений $\leq 1''.5$ вклад погрешностей выноса проектных направлений характеризуется ср. кв. ошибкой, равной $0.66 m_\alpha \leq 1''$, т. е. пренебрежимо малой величиной.

Азимутальные МО были определены одним приемом, что по данным из [13] обеспечивает точность не хуже $20''$.

Определение угломестных МО выполнено стандартным геодезическим методом [7] со ср. кв. ошибкой $17''$ (оценка по разностям двойных измерений).

Результаты радиоастрономических наблюдений Солнца в 1982—1984 гг. [16, 17] подтвердили правомерность применения описанного метода юстировки для обеспечения наблюдений на волнах ≥ 2 см. Если же учесть достигнутую точность угловых измерений, мероприятия по повышению точности поверхности щитов [18] и совершенствование методов измерения расстояний, то можно говорить и о применении метода угловых засечек для обеспечения наблюдений на волнах до 1 см. Кроме того, данный метод можно успешно применять при юстировке АПП для дециметровых наблюдений и обеспечения наладочных работ. В этих случаях, поскольку требования к точности снижены, установка щитов на окружность выполняется достаточно оперативно.

Литература

1. Стоцкий А. А., Лавров А. П., Магамадова Т. А. Радиотехническая юстировка радиотелескопа РАТАН-600. — В кн.: VIII Всесоюзная конференция по радиоастрономии. Тез. докл. Пушино, 1975, с. 26—27.
2. Гельфрейх Г. Б., Голубчина О. А. Радиоастрономическая юстировка РАТАН-600. — Сообщ. САО, 1978, 23, с. 5—21.
3. Зверев Ю. К., Коркин Э. И. Геодезические методы юстировки радиотелескопа РАТАН-600. — В кн.: VIII Всесоюзная конференция по радиоастрономии. Тез. докл. Пушино, 1975, с. 31—32.
4. Большой пулковский радиотелескоп / С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Н. А. Есепкина, О. Н. Шиврис. — Изв. ГАО, 1960, 21, вып. 5, № 164, с. 3—26.
5. Зверев Ю. К. Радиотелескоп РАТАН-600 с геодезической точки зрения. — Сб. трудов ЦНИИГАиК, 1982, 231, с. 3—34.
6. Амстиславский А. М., Копылов А. И., Просмушкин М. И. Конструкция отражающих элементов и облучателя радиотелескопа РАТАН-600. — Изв. ГАО, 1972, № 188, с. 89—96.
7. Справочник геодезиста / Под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. М.: Недра, 1966. 984 с.
8. Беляков В. М. Геодезические работы при монтаже элементов кругового и плоского отражателя радиотелескопа РАТАН-600. — Сб. трудов ЦНИИГАиК, 1982, 231, с. 101—130.
9. Белевитин А. Г., Зверев Ю. К. Геодезические работы при строительстве и юстировке радиотелескопа РАТАН-600. — Изв. ГАО, 1972, № 188, с. 114—119.

10. Ш и р о в Ф. В. Плановая опорная геодезическая сеть радиотелескопа РАТАН-600. — Сб. трудов ЦНИИГАиК, 1982, 231, с. 35—74.
11. С м и р н о в Н. В., Б е л у г и н Д. А. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. М.: Недра, 1969. 384 с.
12. З в е р е в Ю. К. Геодезические методы юстировки больших радиотелескопов с антеннами переменного профиля (БНР, РАТАН-600). — Автореф. канд. дис. МИИГАиК, 1974.
13. И с с л е д о в а н и е точности отражающей поверхности главного зеркала РАТАН-600 (северный сектор) / С. Я. Голосова, Н. А. Есепкина, Ю. К. Зверев и др. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1982, 15, с. 132—150.
14. З в е р е в Ю. К. Изменения нульпунктов радиальных шкал Большого пулковского радиотелескопа. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1973, 5, с. 166—174.
15. З в е р е в Ю. К., К р ы л о в а С. Я. Исследование угломестных ошибок элементов кругового отражателя РАТАН-600 (северный сектор). — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1981, 13, с. 106—116.
16. К о м п л е к с н а я активная область по наблюдениям на РАТАН-600 в июле 1982 г. / Ш. Б. Ахмедов, В. М. Богод, В. Н. Боровик и др. — В кн.: XVI Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям Солнечной системы. Тез. докл. М., 1984, с. 22.
17. Результаты наблюдения активных областей на Солнце в июле—августе 1983 года на РАТАН-600 на десяти волнах см- и дм-диапазона / Ш. Б. Ахмедов, В. М. Богод, В. Н. Боровик и др. — В кн.: XVI Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям Солнечной системы. Тез. докл. М., 1984, с. 21.
18. П о в ы ш е н и е точности отражающей поверхности главного зеркала радиотелескопа РАТАН-600 / В. М. Беляков, А. П. Глумов, С. Я. Голосова и др. — В кн.: Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы. XIV Всесоюзная радиоастрономическая конференция Тез. докл. Ереван, 1982, с. 206—207.

Поступила в редакцию 20.11.84