

МЕТОД ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ НАВЕДЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ РАТАН-600 ПО УГЛУ МЕСТА

О. А. Голубчина

Предлагается метод экспресс-контроля наведения центра диаграммы направленности антенны РАТАН-600 по углу места. Этот метод позволяет по одной записи радиоизлучения Солнца, азимут которого в момент наблюдения не равен нулю, определить положение центра диаграммы направленности антенны по углу места с точностью выше $1'$. Приводятся результаты эксперимента. Метод экспресс-контроля может быть использован для определения радиорефракции на низких углах наблюдений, что также подтверждается экспериментально.

The express-control method of pointing the RATAN-600 antenna pattern center in the height direction is suggested. The method enables to detect the height position of the antenna pattern center using one observation of the Sun, the azimuth of which does not equal to 0 at the moment of the observation. The accuracy of this method is higher than $1'$. The results of the experiments are presented. The express-control method can be used for detection of radio-refraction in low heights, that is confirmed experimentally.

Одним из важных условий наблюдения космических источников является правильное наведение диаграммы направленности антенны (д. н. а.) на исследуемый объект по углу места. Погрешность наведения д. н. а. по углу места включает в себя:

- 1) погрешность определения мест нулей отражающих элементов по углу места;
- 2) погрешность установки вторичного отражателя по углу места;
- 3) погрешность установки вторичного отражателя в радиальном направлении [1, 2].

Наличие в системе радиотелескоп—радиометр (РАТАН-600) трех указанных видов ошибок суммарно действует на точность наведения д. н. а. по углу места. Метод экспресс-контроля не позволяет разделить указанные три вида ошибок. В случае отсутствия источников двух последних видов ошибок мы можем говорить об экспресс-контроле установки отражающих элементов по углу места.

Однако в любом случае даже после проведения наблюдений для корректной их обработки необходимо знать точное положение центра д. н. а. по углу места в период выполнения исследуемых наблюдений, так как от точности наведения д. н. а. по углу места зависят величины потоков и радиокоординаты наблюдаемых источников.

Идея метода заключается в том, что при смещении д. н. а. по углу места относительно оптического диска Солнца, азимут которого в момент наблюдения не равен нулю, на записи радиоизлучения Солнца по уровню 0.5 мощности появляется асимметрия отрезков, соответствующих времени от момента входа Солнца в главный лепесток д. н. а. до расчетного момента прохождения центра оптического диска Солнца через центр д. н. а. и от последнего до момента выхода Солнца из главного лепестка д. н. а.

Отношение этих интервалов времени — коэффициент асимметрии (K) — характеризует степень асимметрии, т. е. величину смещения центра д. н. а. по высоте (ΔH).

Суть определения величины смещения (ΔH) центра д. н. а. относительно центра оптического диска Солнца по углу места состоит в определении на радио-

записи Солнца по уровню 0.5 мощности величины коэффициента асимметрии K (рис. 1) и подборе на гелиографической координатной сетке такой величины смещения ΔH , при которой соответствующий коэффициент асимметрии $K_1 = K$. K_1 определяется по гелиографической координатной сетке как отношение расстояний от лимбов до точки пересечения прямой, совпадающей с положением д. н. а., проведенной через центр оптического диска Солнца, и прямой, парал-

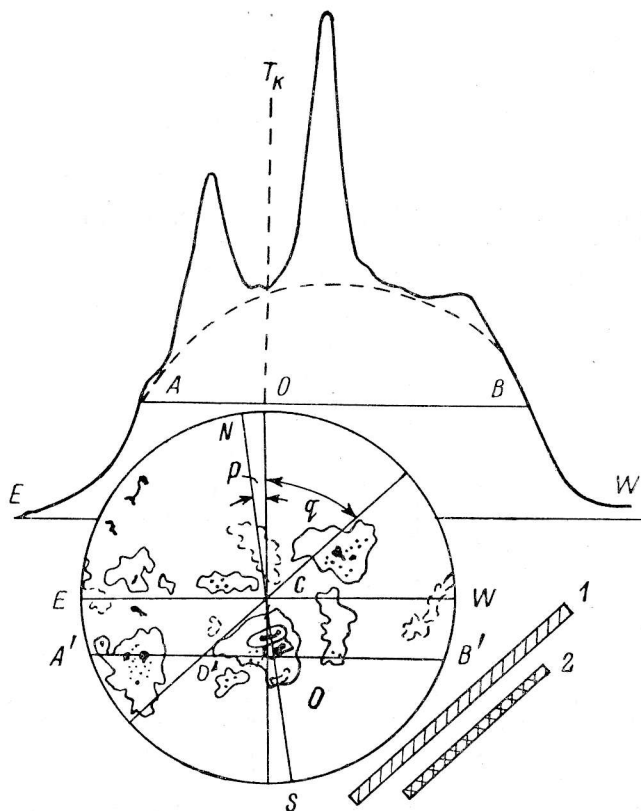


Рис. 1. Пример записи Солнца 24.07.89 на $\lambda = 2.3$ см и соответствующее оптическое изображение Солнца.

T_K — момент прохождения центра оптического диска Солнца через центр диаграммы направленности антенны. $K = AO/OB$; $K_1 = A'O'/O'B'$; 1 — масштабное изображение д. н. а. на $\lambda = 4.5$ см; 2 — то же, на $\lambda = 2.3$ см.

лельной суточной параллели, но смещенной относительно центра оптического диска Солнца на величину ΔH (рис. 1, табл. 1). Величины ΔH , найденные методом экспресс-контроля в 1980, 1981, 1982, 1983, 1984 гг., равны соответственно $\Delta H = 0'$, $-6'$, -1.8 , $-4'$, -4.5 . Точность определения величины ΔH выше $1'$. Данные табл. 1 соответствуют вполне определенному взаимному расположению д. н. а., суточной параллели и оси вращения Солнца: параллактический угол $-q = 46^\circ$; положение оси вращения Солнца $P = 7^\circ$. Данные эксперимента 24.07.81, приведенные в табл. 2, дали среднее значение $K = 0.54$. Следовательно, пользуясь табл. 1, находим, что центр д. н. а. смещен по высоте вниз относительно центра оптического диска Солнца, а величина смещения $\Delta H = -6'$.

ТАБЛИЦА 1

$q = 46^\circ$, $P = 7^\circ$, 24.07.81

K_1	0.90	0.80	0.75	0.67	0.61	0.53	0.48	0.42	0.36	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06
$(\Delta H)'$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

ТАБЛИЦА 2

24.07.81, $\lambda = 2.3$ см, \odot			24.07.81, $\lambda = 2.3$ см, \odot		
A_{\odot}	K	q	A_{\odot}	K	q
255°12'	0.45	47°50'	271°27'	0.60	50°04'
257 28	0.42	48 32	273 58	0.62	49 55
259 44	0.46	49 03	276 33	0.53	49 38
262 01	0.49	49 28	279 15	0.55	49 11
264 19	0.54	49 47	285 03	0.61	47 45
266 39	0.57	50 00	291 34	0.59	45 26
269 01	0.58	50 06	295 11	0.61	43 53
				$\bar{K}=0.54$	

Такая методика определения ΔH в 1982, 1984 гг. была проверена «штатным» методом путем нахождения максимума излучения из многократных наблюдений радиисточника Сгаб, когда последовательно смещался по углу

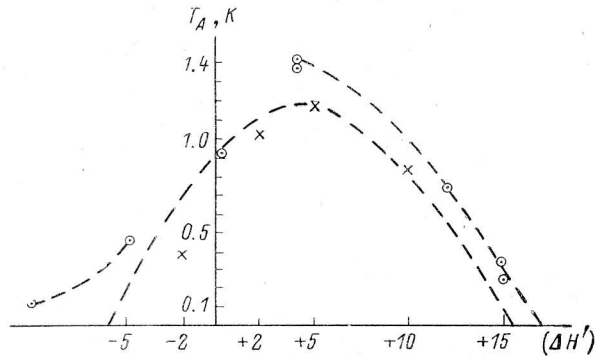


Рис. 2. Зависимость антенной температуры Сгаб от смещения центра д. н. а. по углу места относительно расчетного центрального. «Штатный» метод.

Две серии измерений на $\lambda=2.08$ см, наблюдения выполнены методом «эстафеты».

места центр д. н. а. в обе стороны относительно расчетного положения (рис. 2). Результаты измерений ΔH двумя независимыми методами дали хорошее согласие:

- 1982 г. $\Delta H = -1'1$ — метод экспресс-контроля; $\lambda=2.3$ см, \odot
 $\Delta H = -0'0$ — метод «штабный», $\lambda=2.08$ см, Сгаб
 1984 г. $\Delta H = -4'5$ — метод экспресс-контроля, $\lambda=2.3$ см, \odot
 $\Delta H = -4'0$ — «штабный» метод, $\lambda=2.08$ см, Сгаб

При определении коэффициента асимметрии существенным является вопрос о соотношении угловых размеров диаметра Солнца (D_{\odot}), вертикальной диаграммы направленности антенны ($\rho_{0.5}$) и величины смещения центра д. н. а. (ΔH).

Если величина $\rho_{0.5} \gg D_{\odot}$, то смещение центра д. н. а. по углу места относительно центра оптического диска Солнца, на величину $< (D_{\odot}/2)$ никак не отразится на наблюдаемом отклике антенны радиотелескопа на распределение радиояркости по Солнцу. В этом случае метод экспресс-контроля окажется бесценен для определения величины смещения центра д. н. а. Если же угловой размер вертикальной д. н. а. сравним с D_{\odot} , то при смещении центра д. н. а. относительно центра оптического диска Солнца может появиться погрешность в определении коэффициента асимметрии из-за того, что часть вертикальной д. н. а. окажется вне Солнца, и при формировании наблюдаемого отклика антенны на распределение радиояркости по Солнцу сигнал будет определяться главным образом сверткой той части диаграммы направленности антенны, которая попадает на Солнце, и распределением радиояркости по Солнцу. Вследствие этого в методе «эстафеты» экспресс-контроль антенны целесообразно проводить на $\lambda < 2.5$ см ($\rho_{0.5} \approx 17'$, $\lambda=2.3$ см; $\rho_{0.5} = 27'$, $\lambda=4.5$ см; $D_{\odot} \approx 30'$), так как

в этом случае при смещении центра д. н. а. даже на $\Delta H = 7'$ д. н. а. в вертикальном направлении не выходит за пределы Солнца.

Следующей причиной, которая также может отрицательно влиять на корректность определения величины смещения центра д. н. а. по углу места, особенно на $\lambda > 2$ см, является существование восходящих и заходящих локальных источников (л. и.). Л. и., расположенные на краях записи Солнца, на волнах, больших 2 см, значительно усложняют процедуру выделения спокойного Солнца. Вследствие этого в величину асимметрии Солнца может быть внесена погрешность, причем знак погрешности зависит от того, в западной (W) или восточной (E) части диска расположены локальные источники. В нашем эксперименте в июле 1981 г. коэффициент асимметрии $K < 1$, т. е. центр д. н. а. смещен вниз по углу места. Из простейших геометрических построений взаимного расположения д. н. а., оптического диска Солнца и соответствующей радиозаписи Солнца видно, что при $K < 1$ и л. и., расположенных на E-лимбе Солнца, K увеличивается, смещение центра д. н. а. относительно центра оптического диска Солнца уменьшается.

Если $K < 1$ и л. и. расположены на W-лимбе, то K уменьшается, смещение центра д. н. а. увеличивается. В случае $K > 1$ (смещение центра д. н. а. вверх по углу места) при л. и., расположенных на E-лимбе, K увеличивается, а смещение уменьшается. Если л. и. расположены на W-лимбе, то K уменьшается, а смещение центра д. н. а. увеличивается. В табл. 3 приведены средние значения коэффициентов асимметрии, вычисленные по нескольким прохождением Солнца для четырех различных дат наблюдений, откуда видна тенденция реального существования описанной зависимости величины коэффициента асимметрии K от влияния восходящих и заходящих л. и.

ТАБЛИЦА 3

Дата	$\lambda = 2.3$ см \bar{K}	$\lambda = 4.5$ \bar{K}	Наличие на краях записи Солнца, л. и.
17.07.81	0.56	0.53	—
24.07.81	0.54	0.79	E
29.07.81	0.51	0.43	W
31.07.81	0.60	0.71	Слабый

Метод экспресс-контроля может быть использован для определения радиорефракции на низких углах наблюдения на РАТАН-600, а также, вероятно, на крупных параболоидах. Для этого прежде всего необходимо определить ΔH методом экспресс-контроля на высоких или средних углах наблюдений, для которых величины радиорефракции достаточно точно определяются по приближенной формуле: $r = 1.2 \cdot 58'' \cdot 1 \operatorname{tg} z$ [3], где коэффициент 1.2 учитывает среднее превышение радиорефракции над оптической рефракцией. На низких высотах наблюдения ($H < 3^\circ$) величину рефракции невозможно описать в виде формулы, но она достаточно легко может быть определена из записи одного прохождения Солнца через д. н. а. методом экспресс-контроля. Из радиозаписей наблюдений Солнца в июле 1981, 1982 гг. методом экспресс-контроля были найдены поправки (Δr) к введенной в расчеты величине радиорефракции:

$$\begin{aligned} 29.07.81 & \quad H_{\odot} = 2^{\circ} 38' 33'', \Delta r = -7'' \\ 28.07.82. & \quad H_{\odot} = 2^{\circ} 29' 17'', \Delta r = -7'' \end{aligned}$$

Сравнение поправок, найденных к величине введенной радиорефракции для близких высот в разные годы, свидетельствует о корректной работе метода и целесообразности использования на РАТАН-600 метода экспресс-контроля наведения д. н. а. по углу места.

Заключение. К настоящему времени предлагаемый метод экспресс-контроля является наиболее быстрым методом контроля наведения д. н. а. на источник на РАТАН-600, так как существующие методы контроля установки отражающих элементов по углу места или определения точности наведения центра

д. н. а. на источник путем последовательных смещений центра д. н. а. по углу места в обе стороны от расчетного требуют значительного времени. Наименее трудоемкий и быстрый, практически используемый на РАТАН-600 метод требует трех последовательных наблюдений Солнца или другого источника в одном и том же азимуте.

Метод экспресс-контроля может быть использован и для уточнения положения д. н. а. по углу места для проведенных ранее наблюдений путем описанной выше обработки радиозаписей Солнца, выполненных в этот же наблюдательный период.

Литература

1. Сравнение автоколлимационного и радиоастрономического методов юстировки Большого пулковского радиотелескопа / Голубчина О. А., Зверев Ю. К., Стоцкий А. А., Ходжамухамедов Н. // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1973. 5. С. 157.
2. Х а л х у н о в В. З. Сферическая астрономия // М.: Недра, 1972. 164 с.
3. Автоколлимационная юстировка и исследование стабильности радиотелескопа РАТАН-600 / Стоцкий А. А., Калихевич Г. Н., Осина Т. Н., Пинчук Г. А. // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1987. 25. С. 143—167.

Поступила в редакцию
22 июня 1989 г.