

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАТАН-600 С ПОМОЩЬЮ РЕЖИМА НЕПОДВИЖНОГО ФОКУСА

*Н. С. Соболева, А. В. Темирова, Т. Б. Пятунина, О. Н. Шиврис,
В. В. Витковский, Т. А. Пляскина, В. С. Шергин*

В продолжение метода «неподвижного фокуса», предложенного в [1], рассмотрен ряд новых наблюдательных возможностей, связанных с этим режимом. Представлен еще один способ расчета установки кругового отражателя для наблюдений с неподвижным фокусом, реализующий оптимальное вписывание эллиптической кривой между двумя предельными окружностями. Проведена экспериментальная проверка метода на Северном и Южном секторах РАТАН-600. Приводимые графики позволяют оценить возможности РАТАН-600 в режиме с неподвижным фокусом: диапазон высот, апертуру, ожидаемые антенные температуры, полуширины и необходимый интервал времени между наблюдениями. Показано, что помимо улучшения координатной точности, метод позволяет увеличить количество установок в несколько раз по сравнению со штатным режимом.

New observational possibilities of the «fixed focus» regime proposed in 1973 [1] are considered. One more method of computation of the main circular reflector arrangement for observations in this mode which realizes the optimum refinement of the elliptical curve between two limiting circles. An experimental check of the method was made on the northern and southern sectors of the telescope. The diagrams are given which permit to evaluate the possibilities of the RATAN-600 in this new regime: height ranges, aperture, expected antenna temperatures, half-widths of the diagram and required time interval between two successive observations. It is shown that in addition to the improvement of the coordinate accuracy the method increases several times the efficiency of the telescope.

При наблюдениях с любой рефлекторной фокусирующей системой качество результатов по определению координат и потоков зависит от точности наведения электрической оси на объект исследования. В радиоастрономическом диапазоне в радиотелескопах с низким разрешением точность наведения зависит от разрешающей способности, а в системах с очень высоким разрешением, таких как 100-м зеркало в Эффельсберге, 300-м чаша в Арэсибо, РАТАН-600, определяется положением фазового центра облучающей системы относительно геометрической оси основной поверхности.

В системах антенн переменного профиля (АПП), таких как РАТАН-600, стабильность положения фокуса можно контролировать точнее, чем в случае сплошного зеркала, так как в сплошных зеркалах он находится на высоте $D/2$, где D — диаметр зеркала (в Арэсибо, например, на высоте 150 м), а в антеннах АПП — на высоте $H/2$, где H — высота элемента основной поверхности.

Проблема определения координат связана с одним из важных астрофизических направлений — отождествлением радиообъектов с оптическими, инфракрасными, рентгеновскими и гамма-источниками. Поэтому поиск путей повышения точности радиokoординат всегда будет актуальной задачей. Повышение точности наведения повышает и точность определения плотностей потоков радиообъектов.

Как известно, в системах АПП [2] плоская волна от точечного источника преобразуется основной поверхностью, состоящей из большого числа независимых элементов, в цилиндрическую, а затем вторичным зеркалом в сферическую волну, сходящуюся в точку, которая должна быть совмещена с фазовым центром первичного рупора.

Погрешности в положении элементов основного отражателя, а также в положении вторичного зеркала и первичного облучателя вносят амплитудные и

фазовые ошибки в раскрыв антенны и приводят к абберациям и вращению диаграммы направленности. Даже при абсолютно жесткой связи первичного рупора с параболическим цилиндром (вторичным зеркалом) последнее имеет шесть степеней свободы. При нежесткой конструкции пять степеней свободы имеет также и первичный рупор. Рассмотрим влияние каждой из степеней свободы на наблюдения радиостанций.

1. Смещение вторичного зеркала (облучателя) Δl в направлении восток—запад вместе с первичным облучателем (при наблюдениях в плоскости меридиана) приводит к появлению нечетных фазовых искажений, в первом приближении к линейному набегу фазы, пропорциональному Δl , и к смещению луча в противоположном направлении запад—восток на величину $\Delta l/F = 206265''$. При $\Delta l = 1$ мм смещение около $1''$. Основная причина такого смещения — люфт в паре ребордные колеса вторичного зеркала—рельс.

2. Смещение облучателя вдоль рельсов от расчетного положения приводит на высоких углах места к перемещению оси диаграммы направленности по склонению (1 мм вдоль рельсов соответствует перемещению диаграммы на $\sim 1''$). На низких углах места смещение облучателя приводит к расфокусировке и некоторым энергетическим потерям. Таблица потерь при расфокусировке такого типа приведена, например, в [3]. Основная причина смещения — конечная точность установки облучателя в расчетное положение и тепловое расширение рельсов вместе с облучателем.

3. Смещение облучателя по оси z (вверх—вниз) приводит лишь к вторичным эффектам перемещения амплитудного распределения по апертуре. Для 1 мм перемещения эффект ничтожный.

4. Вращение облучателя вокруг вертикальной оси приводит к двум эффектам: а) развороту оси симметрии облучения основного зеркала и, как следствие, к небольшому развороту вертикальной и горизонтальной осей диаграммы направленности на небе (эффект обнаружен В. Н. Ихсановой, объяснен В. И. Петрунькиным, Н. А. Есепкиной и др. [4]). Оценки показывают, что разворот диаграммы при повороте на $1'$ облучателя дает $\Delta \varphi \approx 13^\circ$ ($60''/60^\circ$) = $13'$. Это приводит к погрешностям в определении моментов прохождения источников, склонение которых не совпадает с максимумом диаграммы направленности. Эффект мал. (При прохождении объекта даже на 0.5 выше или ниже оси возникает погрешность в определении горизонтальных координат в ~ 0.2 , что близко к предельной точности координатных измерений, достигнутой по сильным радиостанциям; б) если вращение облучателя происходит вокруг оси, не проходящей через мнимый фокус, то дополнительно возникает смещение мнимого фокуса от плоскости наблюдений (от меридиана): разворот на базе, сравнимой с фокусным расстоянием вторичного зеркала, приводит к смещению электрической оси на $1'$ ($f_{\text{фоч.}}/F_{\text{антенны}}) \approx 0.5$.

5. Разворот в $1'$ облучателя вокруг линии север—юг при наблюдении в меридиане приводит к энергетическим потерям $\sim 0.1\%$ и к смещению мнимого фокуса из плоскости меридиана, приводящему к отклонению электрической оси на угол ≤ 0.5 .

6. Вращение облучателя относительно линии восток—запад (при наблюдениях в меридиане) приводит к энергетическим потерям типа случая 5, к смещению огибающей в дифракционной картине и к некоторому смещению мнимого фокуса вдоль рельсов. Смещение огибающей практически (при малых наклонах) не смещает направления максимума диаграммы направленности, но вызывает асимметрию типа север—юг в лепестковой структуре. Наклон в $1'$ приводит к потерям, как в случае 5, смещению фокуса вдоль рельсов на 0.5 мм (соответствует 0.5 на высоких углах по склонению) и к асимметрии в амплитудах лепестков на величину $P_{\text{юг}}/P_{\text{сев}} = 1'/\varphi'_{0.5}$ ($\varphi'_{0.5}$ — размер диаграммы элемента по уровню половинной мощности в минутах дуги) на уровне $\varphi_{0.5}$ от оси диаграммы.

Дополнительно рассмотрим эффекты смещения первичного облучателя из фокуса вторичного зеркала, считая, что последнее установлено правильно. Считаем, что облучатель — одномерная структура с фазовым центром и имеет, следовательно, пять степеней свободы: смещение фазового центра по x , y , z и два наклона рупора. Направим ось z из фазового центра на середину вторичного зеркала, ось x — вдоль фокальной линии, ось y — ортогонально x и y . Смеще-

ние по оси z в первом порядке приводит к расфокусировке без смещения оси с потерями, соответствующими табл. 5 в [3]. При смещении на 1 мм на волне 7 см ожидаются потери $\sim 1\%$. Смещение по оси x наиболее ощутимо и приводит к повороту диаграммы направленности по азимуту на $1''$ при смещении на 1 мм. Смещение по оси y в первом приближении эквивалентно наклону облучателя (1 мм смещения дает 0,5 наклона, далее см. случай 6.)

Итак, точность определения положения радиоисточника является функцией многих параметров: $\alpha = f(q_1, q_2, \dots, q_n)$, где q_i — степень свободы

$$\Delta\alpha = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial q_i} \Delta q_i \right)^2}. \quad (1)$$

При абсолютных измерениях нужно знать зависимость f от всех q_i , а погрешности самих параметров Δq_i свести к минимуму. При относительных измерениях, как хорошо известно, часть погрешностей можно исключить, используя опорные объекты.* Предельная координатная точность относительных измерений, достижимая при полностью неподвижной антенне, определяется только стабильностью параметров q_i . Новая обработка материалов наблюдений в режиме «Холод» [5], выполненная Н. Н. Бурсовым, показала, что при неподвижной антенне стабильность моментов прохождения яркого источника PKS 2128+05 через диаграмму направленности радиотелескопа оказалась лучше ± 0.05 с.

Значительного повышения координатной точности можно добиться уже и в том случае, если при подвижном основном отражателе закрепить вторичное зеркало и первичный облучатель. Действительно, ошибка в положении диаграммы из-за неточной установки элементов основного отражателя будет усредняться по всем элементам: $\varepsilon = \varepsilon_{\text{ср.}} / \sqrt{N}$, где $\varepsilon_{\text{ср.}}$ — средняя погрешность установки одного элемента, N — число элементов. При этом точность установки каждого элемента основного отражателя составляет ~ 0.04 мм и значительно превышает точность установки вторичного зеркала. Метод неподвижного фокуса, предложенный в начале 70-х годов [1], как раз позволяет избавиться от погрешностей, связанных с установкой вторичного зеркала.**

Далее напомним, что эффективность относительных измерений определяется высокой поверхностной плотностью опорных объектов. На волне 7.6 см поверхностная плотность источников с потоками более 100 мЯн составляет $3 \cdot 10^3$ ср $^{-1}$ или один источник на квадратный градус, а источников с потоками более 500 мЯн, для которых, как правило, хорошо известны координаты, один источник на 10 квадратных градусов. Таким образом, сильные опорные источники при разумной продолжительности наблюдательного цикла могут наблюдаться только значительно выше или ниже электрической оси диаграммы при неподвижной диаграмме. Рассмотрим более подробно эффекты, возникающие при таком прохождении. Как известно [2], диаграмма РАТАН-600 при штатном режиме наблюдений на одном секторе без плоского отражателя имеет сложную форму, слегка напоминающую гантель (рис. 1), но обладающую, кроме

* Исключение составляют погрешности, связанные с термическим удлинением рельсов. Проблема термической деформации рельсов в полной мере не изучена. Однако опыт показал, что при наблюдениях продолжительностью 2—3 ч при различных погодных условиях влияния тепловых деформаций рельсов на качество измерений не выявлено.

** Для повышения координатной точности наблюдений на РАТАН-600 в 1978 г. Г. А. Пинчуком и А. А. Стоцким был предложен метод, позволяющий контролировать автоколлимационно положение мнимого фокуса в плоскости симметрии антенны [6]. Этот метод дал удовлетворительные результаты при координатных измерениях Меркурия и других источников [7, 8]. Однако он обладает принципиальными ограничениями. Обычно в привязке облучателя к рабочей поверхности участвуют только два или несколько элементов поверхности основного отражателя. Можно осуществлять привязку, используя и всю рабочую поверхность, но это требует лишней установки антенны на горизонт и, следовательно, связано с затратой дополнительного времени. Вторым ограничением является то, что к основной поверхности привязывается не рабочий фокус, а так называемый автоколлимационный, часто расположенный на больших расстояниях по каретке от рабочего. Как показал недавний эксперимент, проведенный совместно с Ю. К. Зверевым на первом облучателе, при перемещениях каретки вторичного зеркала меняется его наклон в направлении восток—запад.

того, тонкой структурой. Из-за погрешностей вертикальная ось диаграммы направленности может быть также немного развернута. На рис. 1 приведены характерные сканы источников, проходящих выше и ниже электрической оси диаграммы направленности [9]. Как следует из рис. 1, для этих источников

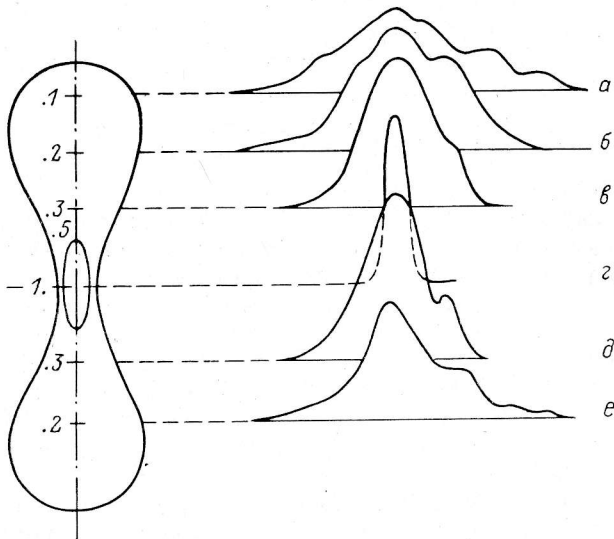


Рис. 1. Форма теоретической диаграммы направленности РАТАН-600 при работе на отдельном секторе [2] (слева) и экспериментальные сечения диаграммы (справа).

a — сечение по уровню > 0.1 вертикальной диаграммы направленности; *б, в* — сечение по уровню 0.2; *г, д* — сечения по уровню 0.3; *з* — центральное сечение (горизонтальная диаграмма направленности).

кривая прохождения не просто расширяется и падает по амплитуде. Простое расширение диаграммы направленности и уменьшение антенной температуры приводило бы к некоторому ухудшению координатной точности $\Delta \alpha = 1 / \sqrt{2}$ (N/S) $\varphi_{0.5}$ за счет увеличения полуширины и уменьшения отношения сигнал/

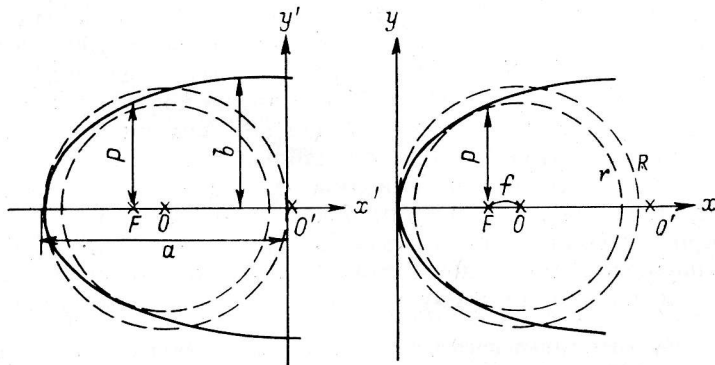


Рис. 2. Горизонтальное сечение основной отражающей поверхности РАТАН-600.

O — центр исходной окружности; *O'* — центр эллипса; *a, b* — полуоси эллипса; *F* — один из фокусов эллипса; $P = b^2/a = a(1 - e^2)$ — параметр эллипса.

Рис. 3. Горизонтальное сечение основной отражающей поверхности РАТАН-600.

R — радиус внешней предельной окружности; *r* — радиус внутренней предельной окружности. Начало координат в вершине эллипса.

шум (S/N). Структурность и асимметрия кривых прохождения, обычные при наблюдениях источников вне оси диаграммы, сильно ухудшают координатную точность. Метод неподвижного фокуса дает возможность проводить наблюдения и опорного, и исследуемого источников на оси диаграммы направленности.

Напомним принцип метода «неподвижного фокуса», который был специально разработан для РАТАН-600 и опробован на БПР в 1972—1973 гг.

Как известно, кривая, по которой должны быть установлены центры элементов основной поверхности телескопа, представляет собой кривую второго порядка: на всех углах, кроме горизонта и зенита, это эллипс

$$(x^2/a^2) + (y^2/b^2) = 1 \quad (2)$$

с параметром $P = b^2/a = a(1 - \varepsilon^2)$, где эксцентриситет ε является функцией высоты источника над горизонтом $\varepsilon = \varphi(h)$, а именно $\varepsilon = \cos h$, h — высота источника над горизонтом. Поэтому для некоторой высоты над горизонтом h имеется свобода в выборе значения параметра эллипса P или величины большой полуоси эллипса a , однако отношение P/a должно сохраняться. Если мы закрепим точку фокуса (рис. 2), сохраняя постоянное расстояние от центра круга до фокуса, то можем варьировать, например, значение параметра эллипса. Ограничением в конкретном случае РАТАН-600 является ограниченная свобода радиальных перемещений элементов — 1 м и некоторое ограничение поворота их по азимуту.

Кроме двух вариантов расчета установки основного отражателя для наблюдений с неподвижным фокусом [1] можно предложить еще один способ, реализующий оптимальное вписывание эллиптической кривой между внешней и внутренней предельными окружностями. (Последний вариант расчета применяется в настоящее время на РАТАН-600). Для этого выберем систему координат (рис. 3), в которой начало лежит на внешней окружности, а ось x проходит через центр системы. В такой системе координат уравнения, определяющие эллипс и внутреннюю окружность, можно записать в виде

$$y^2 = 2Px - (1 - \varepsilon^2)x^2 \quad (3)$$

и

$$y^2 = r^2 - (x - R)^2, \quad (4)$$

где P — параметр эллипса; ε — эксцентриситет; r и R — радиусы внутренней и внешней окружности соответственно.

Решая совместно (3) и (4), получим

$$4(P - R)^2 - 4\varepsilon^2(R^2 - r^2) = 0,$$

откуда

$$P = R - \sqrt{R^2 - r^2} \varepsilon. \quad (5)$$

В случае наблюдений с неподвижным облучателем для высоты h , исходя из фиксированного расстояния от центра до фокуса f , равенства $\varepsilon = \cos h$ и допуская изменение радиуса внешней окружности R_{\max} , можем записать уравнения для фокального параметра эллипса:

$$\begin{aligned} P &= (R_{\max} - f)(1 + \cos h); \\ P &= R_{\max} - \sqrt{R_{\max}^2 - r^2} \cos h. \end{aligned} \quad (6)$$

Решив эту систему относительно R_{\max} , получим

$$R_{\max} = (r^2/2A) + (A/2),$$

где

$$A = f(1 + \cos h)/\cos h. \quad (7)$$

Выражение (7) дает возможность для заданного положения облучателя получить радиус внешней окружности и, следовательно, рассчитать установку для произвольной высоты h из диапазона $h_{\max} \geq h \geq h_{\min}$, определяемого радиусами предельных окружностей кругового отражателя.

Для заданной высоты h величина f может меняться от

$$f_{\max} = R - (R - \sqrt{R^2 - r^2} \cos h)/(1 + \cos h), \quad R_{\max} = R \quad (8)$$

до

$$f_{\min} = r \cos h/(1 + \cos h), \quad R_{\max} = r; \quad (9)$$

при этом число выставяемых элементов кругового отражателя уменьшается. Изменение числа элементов увеличивается с увеличением высоты, но не пре-

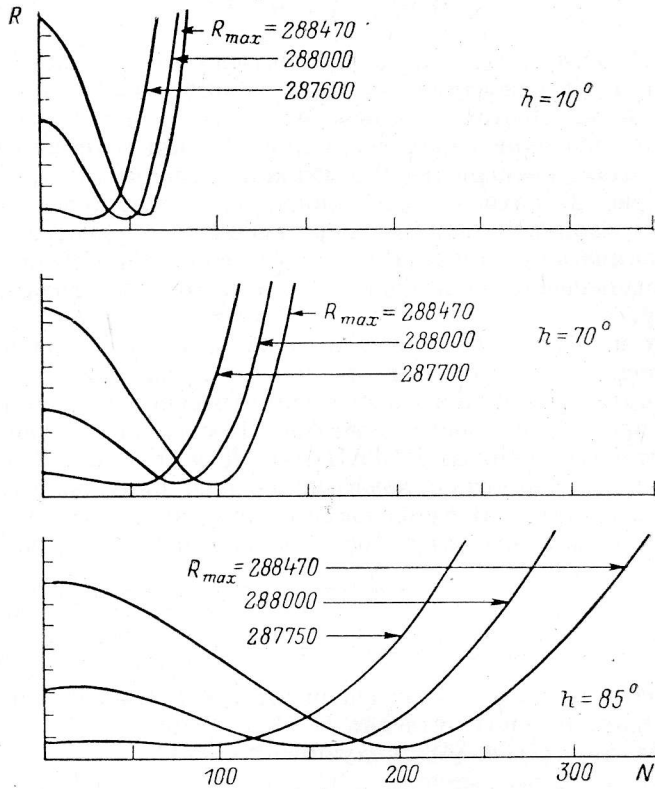


Рис. 4. Изменение расстояния элемента основной поверхности от центра исходной окружности (R) в зависимости от номера элемента (N) для различных значений R_{max} , мм, для трех различных высот источника над горизонтом.

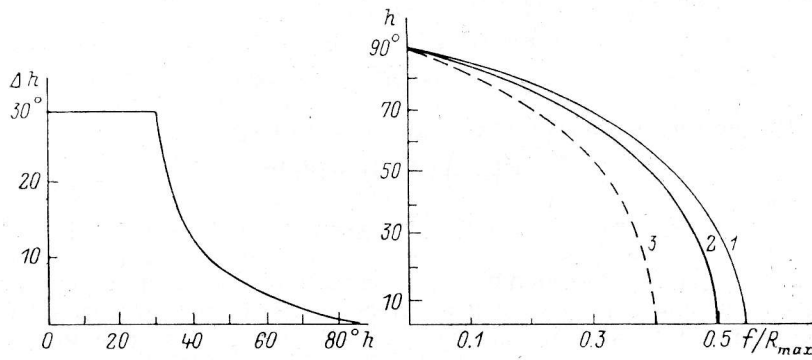


Рис. 5. Зависимость допустимого диапазона высот (Δh) в режиме неподвижного фокуса от высоты источника над горизонтом (h).

Рис. 6. Зависимость высоты источника h от положения фокуса для двух крайних случаев. 1 — вершина эллипса лежит на внешней окружности; 2 — вершина эллипса лежит на внутренней окружности; 3 — та же самая зависимость при сокращенной в 3 раза апертуре по сравнению со случаем 1.

вышает 30 % от максимального значения для данной высоты (при $R_{\max} = R$). Примеры таких изменений приведены на рис. 4.

Определим теперь диапазон допустимых высот в зависимости от h , для чего из (8) и (9) заданному h_{\max} найдем h_{\min} . Выберем соответствующий f_{\max} и приравняем его f_{\min} для h_{\min} :

$$f_{\max} = r \cos h_{\min} / (1 + \cos h_{\min}),$$

откуда

$$h_{\min} = \arccos [f_{\max} / (r - f_{\max})]. \quad (10)$$

Отметим, что из (10) следует $h_{\min} = 0$ для любых $f \geq r/2$.

В общем случае для произвольной высоты h и R_{\max} , рассуждая аналогично, из выбранного

$$f_h = R_{\max} - (R_{\max} - \sqrt{R_{\max}^2 - r^2} \cos h) (1 + \cos h)$$

с учетом (8) и (9) получим

$$h_{\max} = \arccos [f_h / (R + \sqrt{R^2 - r^2} - f_h)] \quad (11)$$

и

$$h_{\min} = \arccos [f_h / (r - f_h)]. \quad (12)$$

Зависимость диапазона высот, допускающего наблюдения с неподвижным облучателем, от высоты приведена на рис. 5. Как следует из этого рисунка, диапазон высот над горизонтом, при котором можно работать в режиме неподвижного фокуса, растет с уменьшением высоты источника над горизонтом. Так, например, можно наблюдать, не перемещая облучателя, на высотах от 0 до 30° над горизонтом. На высоте 60° без существенной потери площади можно работать в этом режиме в диапазоне высот около 4°.

Напомним, что в зените со всем кольцевым отражателем можно наблюдать в области всего ± 0.2 , а при разумном ограничении апертуры — в области ± 1.8 [10]. Для оценки возможностей РАТАН-600 при наблюдениях с неподвижным фокусом на рис. 6 изображены графики зависимости высоты источника h от положения фокуса (удаление фокуса от центра исходных окружностей) для двух крайних случаев: 1) вершина эллипса на внешней окружности; 2) вершина эллипса на внутренней окружности. В таблице приведены значения полных углов из центра (2φ) и из фокуса (2ψ) (угол облучения) и возможное количество устанавливаемых щитов N для РАТАН-600.

h	Случай 1			Случай 2			Случай 3		
	2φ	2ψ	N	2φ	2ψ	N	2φ	2ψ	N
0°	67.0°	123.4°	167	48.0°	88.6°	120	23.0°	38.2°	57
10	67.6	124.0	169	48.4	88.6	121	23.0	38.2	57
20	69.2	124.6	173	49.6	88.6	124	23.8	38.4	59
30	72.2	125.2	180	51.6	88.8	129	24.6	39.0	61
40	77.0	126.6	192	54.4	90.6	137	26.0	39.4	65
50	84.4	129.4	211	59.8	92.6	149	28.6	41.6	71
60	96.2	135.2	240	67.8	96.6	169	31.4	43.0	79
70	118.2	149.0	295	82.2	105.4	205	42.8	54.0	107
80	175.2	193.6	438	117.8	133.4	294	52.4	59.4	131
85	310.4	314.2	776	175.2	184.4	438			

При допустимости значительного сокращения апертуры можно еще увеличить диапазон изменения высоты h при неизменном положении фокуса. Это проиллюстрировано кривой 3 на рис. 6 и третьей колонкой таблицы. Угол облучения (2ψ) здесь сокращен в 3 раза по сравнению с максимальным случаем I. По заданной средней высоте $h_{\text{ср}}$ намеченного для наблюдений диапазона высот $h_{\min} < h_{\text{ср}} < h_{\max}$, с помощью графиков рис. 6 можно уточнить границы диапазона и выбрать оптимальное фиксированное положение фокуса. Так, для высоты $h = 40^\circ$ из рис. 6 фокусное расстояние $0.45R_{\max}$ позволяет перекрыть диа-

диапазон высот в 10° , а при ограниченной апертуре (кривая 3) диапазон высот расширяется до $\sim 45^\circ$.

Остановимся еще на одном вопросе: почему метод «неподвижного фокуса», разработанный более 10 лет назад, не применялся на РАТАН-600 до последнего года.

Отсутствие автоматической установки основного отражателя телескопа делало метод малоэкономичным. Как известно, в неавтоматическом режиме установки время, необходимое на установку основного отражателя, определялось в основном скоростью, с которой оператор мог установить необходимые отсчеты на трех сельсинах каждого отдельного элемента поверхности, оно не могло быть меньше 1 ч. Теперь, когда скорость автоматической установки основной поверхности определяется практически только возможной скоростью перемещения элемента по трем координатам, применение режима «неподвижного фокуса» дает ощутимый экономический эффект. На рис. 7 представлена зависимость времени установки Δt основного отражателя от разности высот Δh , на которую переставляется антенна, в режиме неподвижного фокуса для различных высот источника над горизонтом. Из этих рисунков следует, что даже для предельно широко разнесенных по склонению пар источников установка антенны может быть произведена за 11–12 мин. Для того чтобы переставить антенну на 5° (с высоты 20° на высоту 15°), согласно рис. 7, необходимо затратить примерно 4 мин. Время, которое уходит на перестановку и нивелировку облучателя (вторичного зеркала) при обычных наблюдениях, в режиме с неподвижным фокусом отсутствует.

Короткий интервал времени между наблюдениями опорного и исследуемого источников важен и по другим причинам, о которых речь будет идти ниже.

Остановимся на некоторых новых возможностях, связанных с режимом «неподвижного фокуса».

1. Быстрота перестановки, а отсюда небольшие временные интервалы между наблюдениями исследуемого и опорного источника, а также неподвижность аппаратуры позволяют, как нам кажется, улучшить кроме координатной точности также точность измерений антенной температуры, а следовательно, в конечном счете и плотностей потоков. Характерный интервал времени для температурных деформаций составляет, по-видимому, около 2 ч [11]. А за это время можно провести наблюдения нескольких опорных источников. Отметим, что работа аппаратуры облучателя будет стабильнее в неподвижном состоянии. Кроме этого, атмосферные условия тоже редко меняются на коротких интервалах времени. Все это привело к предложению по изменению методики наблюдений переменности радиоисточников.

Предлагается проводить наблюдения переменности радиоисточников в режиме неподвижного фокуса, причем необходимо сильно увеличить число опорных источников, выбирая источники, находящиеся вблизи исследуемого. Наблюдения должны проходить в течение не более 2–2.5 ч. Опорные источники не обязательно должны быть очень яркими. Предлагается осреднить все опорные источники. Опорные объекты нужно выбирать примерно одинаковой яркости. Точность измерений не будет ухудшаться, если отношение сигнал/шум у исследуемого объекта будет не лучше, чем это отношение у осредненного опорного источника.

2. Как известно, исследование протяженных источников невозможно без уверенного знания формы двумерной диаграммы направленности телескопа. Обычно двумерная диаграмма направленности телескопа экспериментально снимается по ярким объектам в течение 2–3 нед и более, и поэтому точность определения ее формы падает. Возможность снимать диаграмму направленности быстро по не очень слабым источникам значительно повышает точность, если число источников достаточно велико. Если число отказов не катастрофически увеличивается с каждой установкой, то режим неподвижного фокуса позволяет быстро получить диаграмму направленности. Следовательно, режим неподвижного фокуса с успехом может быть применен для цели картографирования протяженных областей.

3. Метод может быть очень полезным при работе в миллиметровом диапазоне волн, где невозможно обеспечивать перестановку облучателя с требуемой точ-

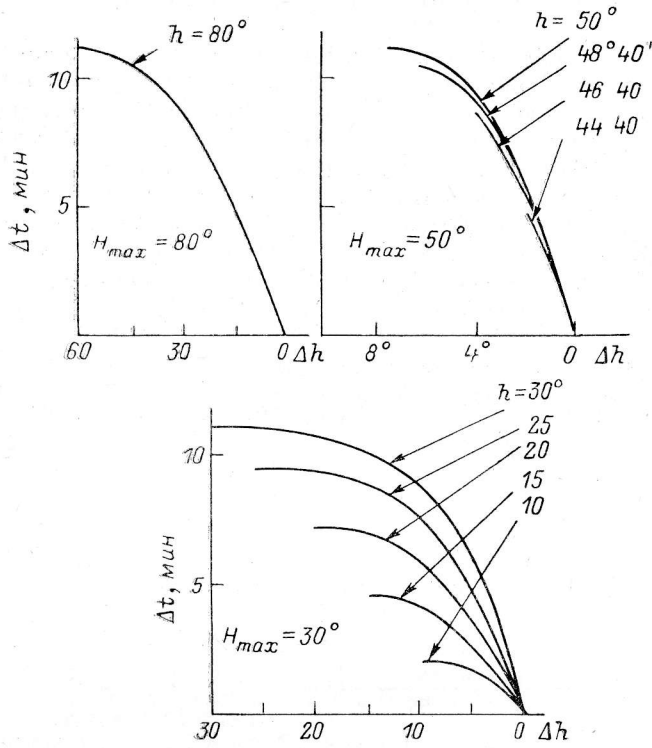


Рис. 7. Зависимость времени установки основного отражателя Δt при работе в режиме неподвижного фокуса от разности высот Δh , на которую переставляется антенна для различных высот источника h .

H_{max} — высота, на которую установлен фокус.

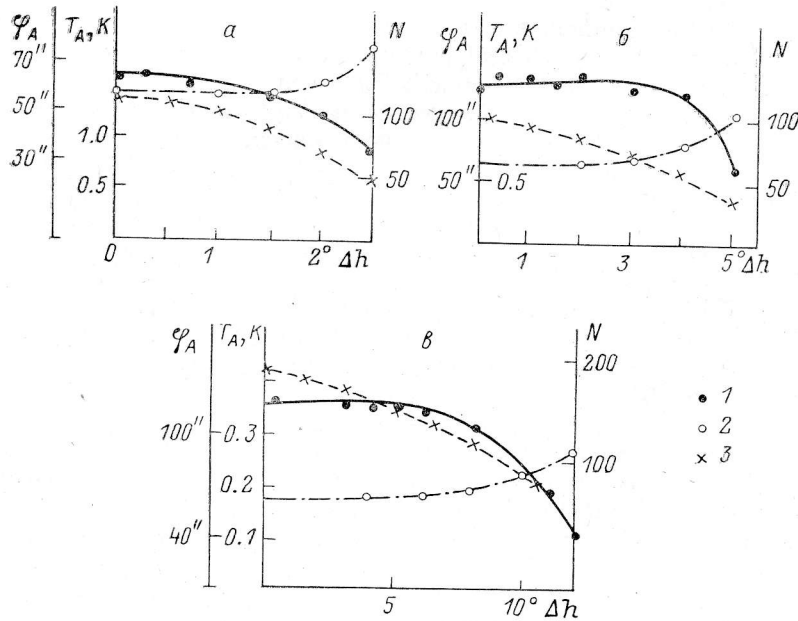


Рис. 8. Экспериментальная зависимость антенной температуры T_A (1) полуширины диаграммы направленности φ_A (2) и количества выставляемых элементов N основного отражателя (3) от разности высот $\Delta h = h_{ист} - H_{max}$ (H_{max} — высота, на которую рассчитано фокусное расстояние) для случая, когда вершина эллипса касается внешней окружности [1].

a — ЗС 138, $h = 62^\circ 48'$; $б$ — ЗС 273, $h = 48^\circ 19'$; $в$ — PKS 1830-21, $h = 25^\circ 08'$.

ностью при современном состоянии методики установки в ограниченный интервал времени.

4. Режим неподвижного фокуса позволяет реализовать длительное сопровождение источников северного неба вокруг нижней кульминации методом, предложенным Н. Л. Кайдановским [12], по имеющимся дуговым рельсовым путям. Вблизи горизонта в этом случае устанавливается более 100 элементов. (Дальше для высоты $h=3^\circ$ выставляется 110 элементов, для высоты 5° — 102 элемента, для высоты 92° — 92 элемента).

5. В режиме неподвижного фокуса легко проводить наблюдения с многолепестковой диаграммой направленности [10]. Такая диаграмма направленности получается в том случае, когда элементы основного отражателя через один или через несколько элементов выставляются на различные высоты наблюдения.

6. В режиме неподвижного фокуса имеется возможность наблюдать в азимуте на далеко разнесенных по каретке первичных облучателях на электриче-

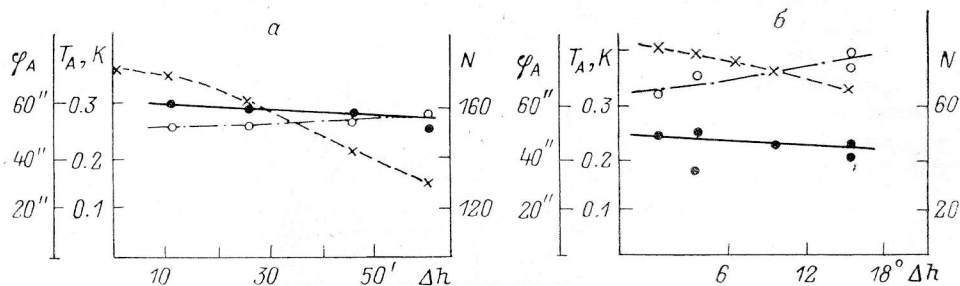


Рис. 9. Экспериментальная зависимость T_A , φ_A и количества выставляемых элементов основного отражателя N от разности высот $\Delta h = h_{\text{уст}} - H_{\text{max}}$.

Расчет производился по новому алгоритму для источника 0850+58 в верхней и нижней кульминации; а — верхняя кульминация, $h=75^\circ 49'$; б — нижняя кульминация, $h=11^\circ 56'$.

ской оси диаграммы направленности, так как за интервал времени между этими наблюдениями можно успеть скорректировать по высоте антенну.

Режим неподвижного фокуса может быть полезен и в ряде других случаев.

На РАТАН-600 этот метод наблюдений был опробован летом 1985 г. в одном из вариантов расчета [4] (вершина эллипса касается внешней предельной окружности) по радиоисточникам PKS 1830—21 ($h \approx 25^\circ$), 3C 273 ($h \approx 48^\circ$), 3C 138 ($h \approx 62^\circ$). На рис. 8 представлена зависимость антенной температуры T_A и полуширины φ_A источника от разности высот $\Delta h = h_{\text{уст}} - H_{\text{max}}$, где H_{max} — высота, на которую рассчитывается положение фокуса облучателя. На том же рисунке показано также количество выставляемых элементов основного отражателя Северного сектора. Из этого рисунка следует, например, что на высоте 48° антенная температура и полуширина источника практически не меняются вплоть до разности высот $\Delta h \approx 4^\circ$. Число выставляемых элементов падает при этом примерно на 30 с каждой стороны.

Новый алгоритм расчета, приведенный выше, был также опробован в марте — апреле 1986 г. по источникам северного неба 0850+58, 0951+69 и 1928+71 в верхней и нижней кульминациях. На рис. 9 приведены наблюдаемые параметры радиоисточника 0850+58 (антенная температура T_A и полуширина источника φ_A) в верхней ($h=75^\circ 49'$) и нижней ($h=11^\circ 56'$) кульминациях и количество элементов основной отражающей поверхности Южного сектора телескопа. Как и в экспериментах, описанных выше, наблюдаемые параметры источника очень медленно ухудшаются с уменьшением количества элементов отражателя при удалении от высоты, на которую рассчитан фокус. Этот эффект связан с особенностями облучения радиотелескопа РАТАН-600.

Стабильность моментов прохождения радиоисточников через диаграмму направленности радиотелескопа в режиме неподвижного фокуса исследовалась летом 1985 г. на волне 8.2 см на облучателе № 1 по шести радиоисточникам,

имеющим плотность потока больше 1 Ян со склонениями от 0° до $3^\circ 5'$ (h от 45° до $49^\circ 5'$). Измерения проводились в течение 3 дней. Показано, что среднеквадратическая погрешность моментов прохождения радиоисточника составляет ± 0.08 с. И хотя наблюдений явно недостаточно для утверждения, что координатная точность в режиме неподвижного фокуса соответствует ожидаемой, все же этот эксперимент позволяет надеяться на достижение высокой координатной точности при работе в таком режиме.

Заключение. Из всего сказанного следует, что режим наблюдений с неподвижным фокусом может иметь широкое применение на РАТАН-600. Метод может быть использован для источников с довольно большой разницей в склонениях (особенно на низких углах места) и помимо очевидных преимуществ в координатной точности дает возможность осуществлять наблюдения через каждые 5—12 мин. Таким образом, этот режим позволяет в несколько раз увеличить эффективность радиотелескопа.

Авторы благодарны Ю. Н. Парийскому за внимание к работе, С. В. Шахову за обеспечение наблюдений летом 1985 г. в режиме быстрых перестановок, Э. Д. Шиврис, Н. Е. Гольневой, Г. В. Ефановой за помощь при оформлении статьи.

Литература

1. Соболева Н. С., Шиврис О. Н. О возможности наблюдений на антеннах переменного профиля источников с различными высотами при неподвижном облучателе // Сообщ. САО. 1974. 12. С. 51—64.
2. 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.
3. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973. С. 414.
4. Эффекты поворота главных сечений диаграммы направленности у антенн с отражателем переменного профиля / В. Ю. Петрунькин, Н. А. Есепкина, Г. В. Кузнецова, Б. Г. Кузнецов // Изв. ГАО. 1964. 23, вып. 3, № 172. С. 160—161.
5. Парийский Ю. Н., Корольков Д. В. Эксперимент «Холод». Первый глубокий обзор неба на телескопе РАТАН-600. Ч. II: Результаты наблюдений // Сообщ. САО. 1984. 42. С. 9—67.
6. 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.
7. Экспериментальное определение прямых восхождений Меркурия на РАТАН-600 / П. М. Афанасьева, В. А. Фомин, Ю. К. Зверев и др. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1979. 11. С. 226—235.
8. Исследование инструментальной системы Северного сектора РАТАН-600 / П. М. Афанасьева, Г. А. Пинчук, А. А. Пожалов, В. А. Фомин. Препр. САО АН СССР, 1984, № 14Л.
9. Темирова А. В. Экспериментальное исследование диаграммы направленности Северного сектора радиотелескопа РАТАН-600 // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1983. 17. С. 131—147.
10. Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н. Методы радиоастрономического использования РАТАН-600 // Изв. ГАО, 1972. № 188. С. 13—53.
11. Автоколлимационная юстировка и исследование стабильности радиотелескопа РАТАН-600. / А. А. Стоцкий, Г. Н. Калихевич, Т. Н. Осина, Г. А. Пинчук // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1987. 25. С. 143—167.
12. Кайдановский Н. Л. Новый метод длительного сопровождения источников на радиотелескопе РАТАН-600 // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1986. 21. С. 73—74.

Поступила в редакцию 12 мая 1986 г.