

МЕТОД «СКОЛЬЖЕНИЯ» НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

М. Г. Мингалиев, Э. Е. Петров, В. И. Филипенко, Л. Н. Черков

Описывается новая методика наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600, позволяющая увеличить время накопления сигнала путем сопровождения первичным рупором радиоизображения объекта в пределах допустимых aberrаций в фокальной плоскости вторичного зеркала. Малая ЭВМ управляет скоростью сопровождения и производит регистрацию сигнала. Приводятся результаты оценки эффективности метода.

A «slipping» method of observations at RATAN-600 allowing to increase integration time is described. Within a tolerable range of aberration a source can be tracked by simple shift of the feed horns along the focal line of the secondary reflector. The results of the effectiveness evaluation are given.

Увеличение времени экспозиции космического источника позволяет повысить проникающую способность инструмента. Для неподвижных радиотелескопов время экспозиции можно увеличить за счет перемещения первичного облучателя в фокальной плоскости первичного зеркала в пределах допустимых aberrаций [1]. На Северном и Южном секторах радиотелескопа РАТАН-600, работающих в пассажном режиме, начиная с осени 1974 г. применяется метод «скольжения», основанный на увеличении времени накопления сигнала за счет движения первичного облучателя. Применение этого метода позволило провести исследование таких предельно слабых объектов, как Галилеевские спутники Юпитера [2, 3]. Метод «скольжения» применялся также при изучении быстро-переменных процессов, как, например, мерцания радиоизлучения источников на неоднородностях солнечного ветра [4], исследование пульсара [5]. Другим примером увеличения возможностей радиотелескопа РАТАН-600 с помощью «скольжения» является двумерный синтез и уменьшение эффекта насыщения в околополярной области. Для уменьшения влияния фонового излучения слабых радиоисточников необходимо уменьшить телесный угол диаграммы направленности. С помощью ножевой диаграммы Южного сектора РАТАН-600 сканировалась область неба $\pm 15'$ вблизи полюса Мира на волне 7.6 см. Сканирование достигалось применением «скольжения». Суточное вращение Земли приводит к возможности восстановления двумерного изображения околополярной области с разрешением, эквивалентным круглой диаграмме с размером $1' \times 1'$, т. е. с разрешением, равным горизонтальному размеру ножевой диаграммы.

В настоящей работе дается описание метода «скольжения» и приводятся оценки эффективности «скольжения» по сравнению с наблюдениями в пассажном режиме.

1. Первичные облучатели приемных устройств установлены на подвижную платформу-карытку с электроприводом, которая может перемещаться вдоль фокальной оси вторичного зеркала радиотелескопа в пределах 1300 мм со скоростью до 15 мм/с. Скорость движения регулируется при помощи ручного задатчика скорости РЗС. (рис. 1). Электропривод серии ПМУ 5М-14СУЧ состоит из двигателя постоянного тока (ДВ) и магнитного усилителя (МУ) и запускается магнитным пускателем (МП).

Для наблюдения объектов в режиме «скольжения» первичный облучатель должен проходить через меридиан (фокус радиотелескопа) с точностью не хуже 0.1 с в момент звездного времени, равного прямому восхождению наблюдаемого

объекта. (Диаграмма направленности РАТАН-600 на самой короткой волне $\lambda=1.38$ см равна 0.6 с.) Имеющийся электропривод не позволяет достичь такой точности. Реализация такой точности стала возможной с использованием малой ЭВМ (Электроника К 200) для управления движением каретки. Для этого электропривод каретки был дополнен командным блоком (КБ), датчиком координаты каретки (ДК). Командный блок по внешнему сигналу от ЭВМ производит двухпозиционное управление скоростью. Датчик координаты каретки по углу и знаку поворота вала винта каретки относительно начальной точки определяет координату каретки с шагом 0.25 мм и преобразует в 13-разрядный двоичный код, который через блок передачи данных (БПД1), линию связи (ЛС) и блок приема данных (БПД2) попадает в малую ЭВМ.

Выбран наиболее простой алгоритм управления скоростью движения каретки, основанный на сравнении расчетной и текущей координаты каретки.

При переключении скорости каретки нарастание или падение скорости происходит плавно из-за большой массы каретки, и текущая координата каретки отличается от расчетной не более чем на 1 мм (рис. 2).

Наряду с управлением скоростью движения каретки малая ЭВМ производит включение и выключение электропривода в заданное время, установку каретки в начальное положение, накопление на МЛ сигнала от наблюдаемого объекта, поступающего через приемник, устройство автоматической регистрации (УАР), БПД1, линию связи и БПД2 в ЭВМ. Параллельно сигнал в виде графика индицируется на экране дисплея.

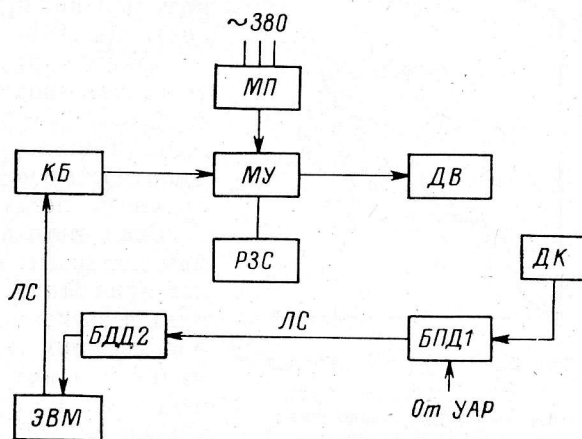


Рис. 1. Структурная схема управления движением каретки.

Исходными данными для расчета метода «скольжения» для данного источника являются его координаты (высота над горизонтом и прямое восхождение) и сектор радиотелескопа, используемый в наблюдениях. Скорость движения каретки отличается от скорости перемещения изображения источника вдоль фокальной линии на 2—3 %. (Подробнее об этом ниже). Предвычисления производятся на ЭВМ разного класса: М 4030, Электроника-100 И, Хьюлет-Паккард-67.

Входными параметрами для программы в малой ЭВМ являются частота съема отсчетов сигнала, скорость движения каретки, время включения электропривода. Эти параметры вводятся в программу через ЭВМ «Консул» непосредственно перед наблюдением.

II. Практической трудностью в реализации расчетной чувствительности в наблюдениях методом «скольжения» является мелкомасштабная неоднородность фонового излучения атмосферы и Земли, попадающего в боковые лепестки диаграммы. Для устранения этого фона до и после «скольжения» источника проводятся по два фоновых «скольжения», т. е. «скольжения» в отсутствие источника. Среднее из полученных таким способом четырех фоновых кривых вычитается из кривой «скольжения» источника. Чувствительность также ухудшается из-за нестабильности фона со временем (продолжительность всего наблюдения около 30—40 мин). Для количественной оценки этих факторов были проведены следующие работы:

— наблюдения на Северном секторе радиотелескопа со вторичным зеркалом № 1 сильных точечных радиоисточников ЗС 273, ЗС 279, ЗС 453.3 на длинах волн 1.38, 2.08, 3.9 и 8.2 см в «скольжении»;

— фоновые «скольжения» на тех же длинах волн в режимах одно- и двухлучевого приемов [6].

На рис. 3 приведены кривые «скольжения», полученные при различных относительных скоростях k движения каретки и изображения источника вдоль фокальной линии:

$$k = (v_{\text{и}} - v_{\text{к}})/v_{\text{и}} \text{ или } v_{\text{к}} = (1 - k)v_{\text{и}},$$

где $v_{\text{и}}$ — скорость движения изображения источника вдоль фокальной линии; $v_{\text{к}}$ — скорость движения каретки.

Сравнение кривых на рис. 3, а и б показывает, что при $v_{\text{к}} = v_{\text{и}}$ («сопровождение») и $v_{\text{к}} = 0.97v_{\text{и}}$ («скольжение») различие не превышает 4 % по энергии (интеграл под кривой «скольжения»). Из сравнения кривых на рис. 3, а видно, что интеграл под кривой при $v_{\text{к}} = 0.97v_{\text{и}}$ больше и примерно на 20 %, чем в случае $v_{\text{к}} = 0.95v_{\text{и}}$.

Таким образом, при практически одинаковой чувствительности по плотности потока режимов «сопровождения» и «скольжения» ($v_{\text{к}} = 0.97v_{\text{и}}$) последний информативнее, так как одновременно с плотностью потока регистрируются размер и координаты источника.

Значение относительной скорости k может быть как положительное, так и отрицательное, т. е. нет принципиальной разницы в кривых «скольжения» в зависимости от того, больше ли скорость перемещения изображения источника вдоль фокальной линии скорости движения каретки или наоборот. Для обработки же результатов более удобен случай, когда $v_{\text{к}} > v_{\text{и}}$. При этом каретка начинает движение до того, как источник входит

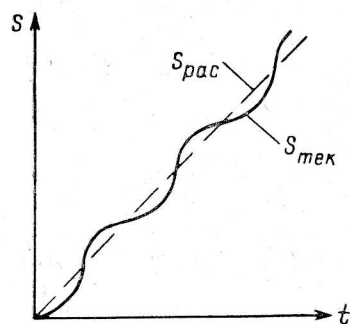


Рис. 2. Диаграмма движения каретки.

$S_{\text{тек}}$ — текущая координата;
 $S_{\text{рас}}$ — расчетная координата.

в диаграмму. Далее источник постепенно догоняет диаграмму, достигая максимума диаграммы в меридиане, и выходит из нее. Когда же $v_{\text{к}} > v_{\text{и}}$, источник проходит через неподвижную диаграмму, после чего каретка начинает движение и диаграмма постепенно догоняет и обгоняет источник. После остановки каретки источник вновь проходит через диаграмму. Оба этих варианта схематически изображены на рис. 4.

Экспериментальные кривые «скольжения» находятся в хорошем согласии с расчетными (различие не более 5 %). Расчеты проводились по программам Коржавина (частное сообщение). Следовательно, при наблюдении слабых объектов «скольжением» для обработки результатов в первом приближении можно использовать расчетные диаграммы, т. е. при этом отпадает необходимость проводить дополнительные наблюдения сильного опорного объекта.

В таблице сравниваются чувствительности в режимах «скольжения» и «прохождения» (источник проходит через неподвижную диаграмму).

длина волны	$\Delta t_{\text{пр}}$	$\Delta T_{\text{пр}}$	$\Delta t_{\text{ск}}$	$\Delta T_{\text{р}}$	$\Delta T_{\text{э}}$	$\Delta T_{\text{пр}}/\Delta T_{\text{э}}$	$N_{\text{пр}}/N_{\text{ск}}$
1.38	0.32	103	20.3	12.9	20.2	5.1	26
2.08	0.50	42.9	24.2	5.2	9.6	4.5	20
3.9	0.94	26.1	33.4	4.4	6.7	3.9	15

Здесь: λ — длина волны, см; $\Delta t_{\text{пр}}$ и $\Delta t_{\text{ск}}$ — максимально допустимое время накопления сигнала на данной длине волны без потери информации, соответственно в «прохождении» и «скольжении», с; $\Delta T_{\text{пр}}$ — экспериментальная чувствительность в «прохождении» при времени интегрирования, равном $\Delta t_{\text{пр}}$; $\Delta T_{\text{р}}$ — расчетная чувствительность в «скольжении» при времени интегрирования, равном $\Delta t_{\text{ск}}$:

$$\Delta T_{\text{р}} = \Delta T_{\text{пр}} \sqrt{\Delta t_{\text{пр}}/\Delta t_{\text{ск}}};$$

$\Delta T_{\text{э}}$ — экспериментальная чувствительность в «скольжении»; $\Delta T_{\text{пр}}/\Delta T_{\text{э}}$ — выигрыш в чувствительности в «скольжении» по сравнению с «прохождением»; $N_{\text{пр}}/N_{\text{ск}}$ — отношение количества наблюдений в «скольжении» $N_{\text{ск}}$ к количеству

наблюдений в «прохождении» $N_{пр}$, необходимых для реализации одинакового отношения сигнал/шум. Значения $\Delta T_{пр}$, ΔT_p и ΔT_v даны в милликельвинах.

Как видно из таблицы, реальная чувствительность в «скольжении» хуже расчетной примерно на 50%. Это ухудшение происходит из-за изменения

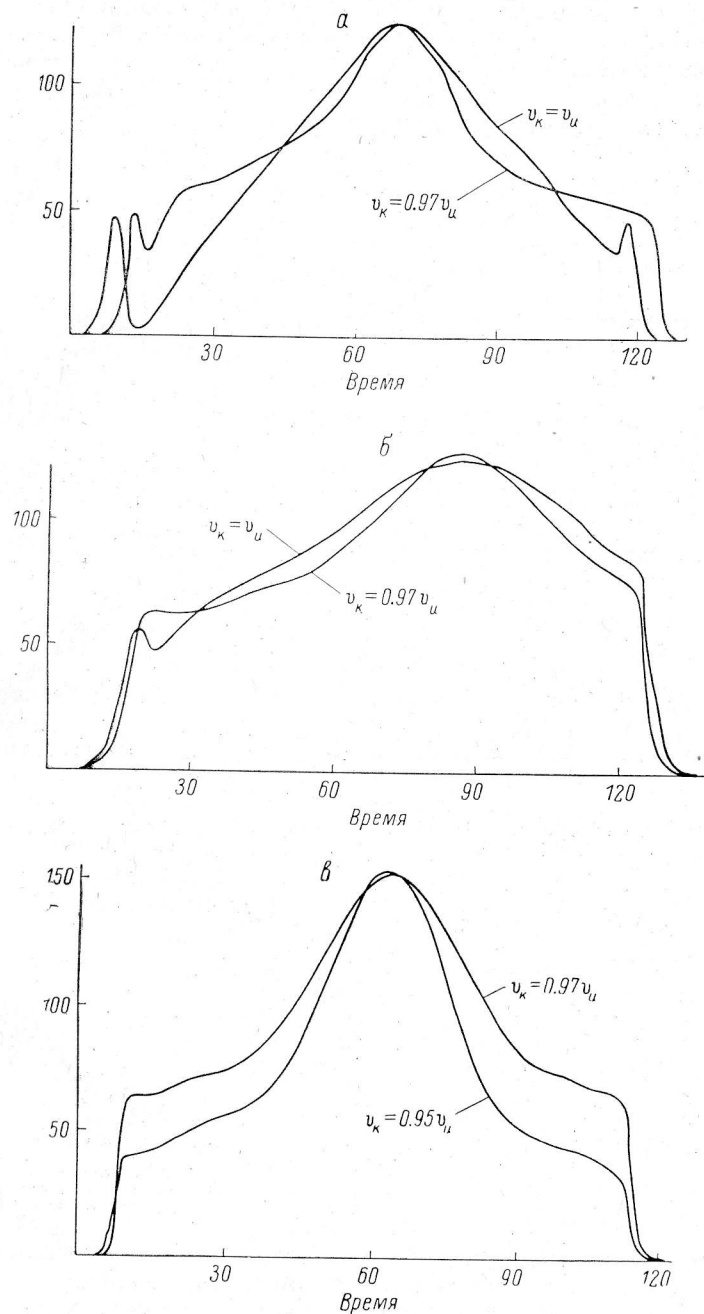


Рис. 3. Кривые «скольжения» при различных относительных скоростях k на длинах волн 3.9 см (а, б) и 8.2 см (в).

а, б — 3С 273; в — 3С 453.3. По оси абсцисс — время в секундах, по оси ординат здесь, как и на рис. 4 и 5 — интенсивность в относительных единицах.

фона со временем в процессе наблюдения, а также в результате того, что из кривой «скольжения» источника вычитается средняя кривая из четырех фоновых «скольжений», т. е. добавляется дополнительный шум. Но здесь стоит отметить, что при исследовании быстропеременных процессов, например в наблюдениях мерцаний, оба указанных выше фактора, ухудшающие чувствительность, стано-

вятся несущественными, так как периоды флуктуаций фона в пространстве и со временем намного больше исследуемых периодов.

На коротких длинах волн ($\lambda = 1-4$ см) флуктуации фона обусловлены атмосферой. Временные масштабы флуктуаций атмосферы сравнимы с продолжительностью одного «скольжения». Один из возможных методов борьбы — применение двухлучевого приема. Например, на длине волны $\lambda = 2.08$ см при двухлучевом приеме чувствительность равна 9.6 мК (см. таблицу), а при однолучевом приеме, в наблюдениях даже при хороших погодных условиях (ясное, безоблачное небо), чувствительность ухудшается в 2—3 раза.

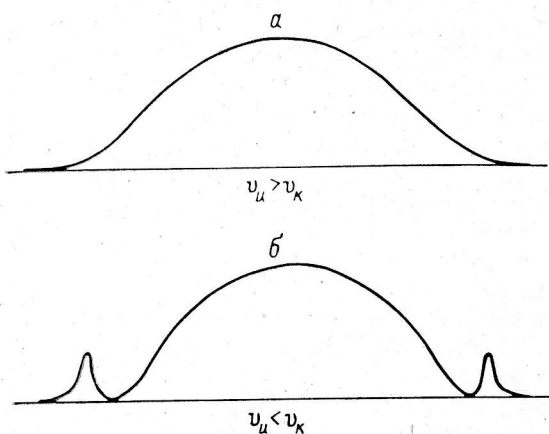


Рис. 4. Схематический вид кривых «скольжения».

a — положительное значение k ($v_k < v_u$); b — отрицательное значение k ($v_k > v_u$).

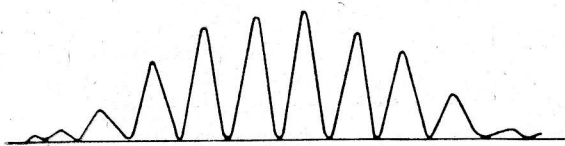


Рис. 5. Схематический вид кривой быстрого «скольжения».

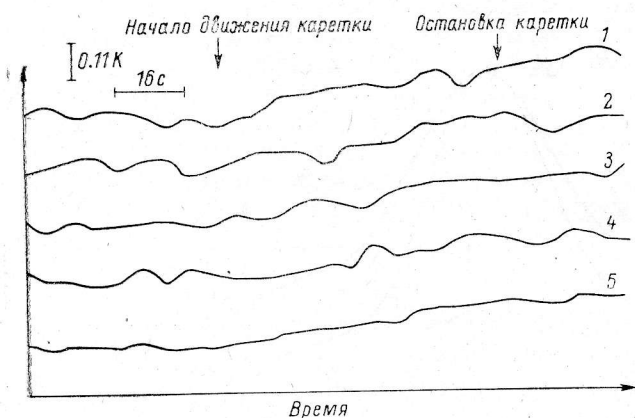


Рис. 6. Кривые «скольжения» фона в круговой поляризации.

1—4 — кривые последовательных «скольжений» фона; 5 — средняя из четырех фоновых «скольжений».

Другая возможность — применение быстрого «скольжения»: источник проходит через неподвижную диаграмму, после чего каретка начинает двигаться со скоростью $v_k \geq 2v_u$ и, обогнав источник, останавливается. И так многократно. Схематически кривая «скольжения» в этом режиме показана на рис. 5. Огибающая этих многократных сканов источника будет представлять собой абберационную кривую.

Имеется еще один способ борьбы с флуктуациями фона — наблюдение круговой поляризации. Геометрия радиотелескопа такова, что при наблюдении неполяризованного источника возникает паразитный сигнал в круговой поляризации, пропорциональный его интенсивности [7]. Величина этого сигнала более 50 % от интенсивности при наблюдениях на высоких углах источника над горизонтом ($H > 50^\circ$). На рис. 6 приведены «скольжения» фона в круговой

поляризации. Из их рассмотрения следует, что если и имеются флуктуации фона от одного «скольжения» к другому, то они меньше по амплитуде чувствительности, определяемой шумами радиотелескопа. Из осредненной кривой «скольжения» видно, что имеется только небольшое плавное изменение фона с движением каретки. Но пока более подробные количественные исследования наблюдений в паразитной круговой поляризации не проведены.

Опыт эксплуатации описанной выше системы, обеспечивающей наблюдения в «скольжении», показал, что ряд технических узлов недостаточно надежен. В настоящее время в лаборатории автоматизации системы управления радиотелескопом разработано новое техническое решение для управления движением каретки [8].

Авторы выражают искреннюю благодарность Ю. Н. Парийскому за полезное обсуждение и постоянное внимание к работе.

Литература

1. Стоцкий А. А. Аберрации главного зеркала антенны переменного профиля и сканирование диаграммы направленности путем смещения облучателя. — Изв. ГАО, 1972, № 188, с. 63.
2. Наблюдения Галилеевских спутников Юпитера на РАТАН-600 / А. Б. Берлин, Н. А. Есепкина, Ю. К. Зверев и др. — Письма в АЖ, 1976, 2, № 8, с. 405.
3. Мингалиев М. Г., Парийский Ю. Н., Петров З. Е. Обнаружение излучения Ио: пояса радиации? — Письма в АЖ, 1979, 5, № 11, с. 622.
4. Шишова Т. Д., Мингалиев М. Г. Межпланетные мерцания радиосточника ЗС 279 по наблюдениям на РАТАН-600. — Письма в АЖ, 1980, 6, № 4, с. 218.
5. Докучаев В. И., Ипатов А. В., Петров З. Е. Пробные наблюдения пульсара PSR 0329+54 на радиотелескопе РАТАН-600. — Астрон. циркуляр, 7 марта 1980 г., № 1099.
6. Радиотелескоп РАТАН-600: ввод в действие и исследование первой очереди / Ю. Н. Парийский, О. Н. Шиврис, Д. В. Корольков и др. — Изв. вузов. Радиофизика, 1976, 19, № 11, с. 1581.
7. Коржавин А. Н. Поляризационные эффекты вторичного зеркала антенны переменного профиля. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1979, 11, с. 170.
8. Авдусhev С. А., Голубчин Г. С., Перченко Ю. В. Система автоматизированного управления приводом облучателя радиотелескопа РАТАН-600. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1983, 18.

Поступила в редакцию 28 октября 1982 г.