ТЕСТОВЫЕ РЕЖИМЫ СЛЕЖЕНИЯ РАТАН-600 ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ БЫСТРОПЕРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА СОЛНЦЕ

Стороженко А.А., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Хайкин В.Б.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия

RATAN-600 TRIAL TEST MODES FOR OBSERVATIONS OF FAST VARIABLE PROCESSES IN THE SUN

Storozhenko A.A., Lebedev M.K., Ovchinnikova N.E., Khaikin V.B.

Special Astrophysical Observatory of RAS, Russia

The main goal of the present work is to debug tracking and fast scanning observation modes, which will provide new information about dynamics of processes in the solar atmosphere, fully using all the advantages of the RATAN-600 radio telescope. To achieve these goals, the following issues were considered: optimization of the observation mode with a reduced aperture, increasing the observation time with one installation of the RATAN-600 antenna, modernization of the motion subsystem of the RATAN-600 feed cabin, implementation of the precise slow motion mode of the RATAN-600 feed cabin.

Preliminary results have been obtained for tracking the Sun, tracking and scanning of the solar active region, and the observation mode with a reduced interval between antenna repositioning.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-369-372

Введение

В штатных наблюдениях Солнца радиотелескоп РАТАН-600 работает в режиме пассажного инструмента. Ежедневно проводится 5 (или 31) наблюдение Солнца в азимутах от $+24^\circ$ ($+30^\circ$) до -24° (-30°) с шагом 12° (2°), однако этого недостаточно для получения полной информации о динамике быстропротекающих процессов на Солнце. Цель настоящей работы – отладка режимов сопровождения и быстрого сканирования, которые позволят получать временную информацию о развитии процессов в атмосфере Солнца с использованием всех преимуществ инструмента.

Антенная система «Юг+Плоский» в режиме работы с сокращенной апертурой

Антенная система «Юг+Плоский» (АС «Ю+П») подвержена внеосевой абберации комы, которая тем меньше, чем меньше относительная апертура системы D/F . В штатном режиме горизонтальный размер апертуры D составляет приблизительно 300 м, а $F/D = 0.4$. На рис. 1а приведены ДН, рассчитанные для данного случая. Видно, что ДН деградирует в значительной мере уже при смещении кабины облучателя, соответствующему

изменению азимута источника $\delta A = 0.1^\circ$, и для расширения поля зрения АС необходимо сокращение действующей апертуры.

Рис. 1. Расчетные ДН АС «Ю+П» ($\lambda = 7$ см) в зависимости от величины смещения кабины облучателя от оси: а) режим полной апертуры; б) режим сокращенной апертуры.

Расчет ДН и aberrаций в режиме работы с полной и сокращенной апертурой выполнен с помощью апертурного интегрирования с моделированием поля на раскрые АС методом геометрической оптики, что в случае АС «Ю+П» применимо для длины волны не более 7 см. Для проверки данного метода на волне 7 см и для расчета ДН на больших длинах волн использовался быстрый многоуровневый алгоритм физической оптики – MLPO [1].

На рис. 1б представлен вид расчётных ДН в режиме работы с сокращённой апертурой размером 100 м. По сравнению с ДН в штатном режиме для $\delta A = 0^\circ$ ширина ДН увеличивается и повышается уровень боковых лепестков, но вид ДН и ее значение в максимуме мало изменяются по крайней мере до $\delta A = 0.5^\circ$. Существенно больше увеличить поле зрения АС можно, используя установку ГЗ в форме не параболического, а кругового цилиндра оптимального радиуса, но это снижает антенную эффективность или требует коррекции сферической aberrации с помощью незначительного изменения формы перископического отражателя [2].

В режиме работы с сокращенной апертурой имеется возможность сопровождения и быстрого сканирования Солнца с неподвижным ГЗ в течение 7 минут при наблюдениях в 31 азимуте с шагом 2° в диапазоне 1–5 ГГц. При этом полное время сопровождения/сканирования Солнца на АС «Ю+П» составляет более 3.5 часов в день. Существенно увеличить размер апертуры и расширить диапазон частот до 40 ГГц и выше можно, восстанавливая радиоизображение протяженного источника с помощью решения задачи обратной свертки (deconvolution). Данная задача является некорректной, поскольку не имеет единственного решения. Тем не менее, как показало наше моделирование, в случае Солнца, когда при эффективном первичном облучателе отношение С/Ш всегда превышает 30 дБ, чис-

ленная процедура сходится к однозначному решению при некоторых разумных дополнительных предположениях.

Модернизация оборудования. Схема наблюдений

В настоящей работе проводились тестовые наблюдения в комбинированном режиме работы систем позиционирования с одновременным движением облучателя и каретки АС «Ю+П». В процессе наблюдений облучатель переводился в режим сопровождения, при этом скорость движения кабины облучателя выбиралась равной скорости движения изображения Солнца в АС «Ю+П». После выполнения процедур по настройке сопровождения и определения области интересов на Солнце запускался процесс сканирования кареткой в окрестности активной области. Для реализации этого режима была организована схема автоматизированного управления подсистемами позиционирования каретки и облучателя АС «Ю+П», проведена модернизация привода каретки (рис. 2).

Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы управления движением облучателя и каретки АС «Ю+П».

Результаты тестового режима сканирования и сопровождения

Первые методические результаты сопровождения/сканирования Солнца с сокращенной апертурой приведены в [3]. На рис. 3 показан результат тестирования режима сопровождения Солнца перемещением кабины облучателя (слежением) с сокращённой апертурой ($D = 100$ м) и одно-

временным сканированием кареткой облучателя. Начало записи представляет собой скан Солнца, при помощи которого в реальном времени производилась установка режима движения облучателя.

Рис. 3. Тренды сигналов активных областей 12735, 12736 радиометрического сигнала РАТАН-600 в диапазоне 3–18 ГГц, в двух поляризациях; стрелкой справа помечена огибающая изменения АС «ЮГ+П»; стрелкой слева – пример максимума с возмущённой максимальной амплитудой сигнала активной области.

Далее, после стабилизации движения в окрестности областей 12375 и 12376, следуют фазы быстрого сканирования активных областей кареткой облучателя. На приведённом участке записи рис. 3 наблюдаются флуктуации максимумов сигнала активных областей относительно кривой поведения антенной системы. Следует отметить, что активные области 12735 и 12736, наблюдаемые SDO (в частности длины волн 94, 171, 304, 1600 Å – инструмент AIA) в период 24.03.2019 7:00 до 11:00 UTC, активно изменяют свою структуру, что также соответствует результатам, полученным во время тестовых наблюдений на РАТАН-600.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-29-21016.

Литература

1. Letrou Ch., Lebedev M., Khaikin V., Boag A. Analysis of RATAN-600 radiation patterns in new operation modes using the MLPO algorithm. // Proc. of COMCAS 2017, Nov. 2017, Tel-Aviv, Israel.
2. Khaikin V.B., Majorova E.K., Efimov I.G., Victorov O.A. Long time cosmic source tracking at RATAN-600 in “radio-Schmidt” mode. // Astronomy & Astrophysics Transactions, 2000, No. 3-4, pp. 608-615.
3. В.Б. Хайкин, М.К. Лебедев, Н.Н. Бурсов, А.А. Стороженко, Н.Е. Овчинникова, В.М. Богод // Труды ИПА РАН, 2018, вып. 47, 53–57.