

СОЛНЕЧНЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП RT-ИЗМИРАН-01

А.М. Шлык, В.А. Козлов, А.А. Абуни, М.А. Абунина, Н.С. Шлык

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк, Россия
amshlik@gmail.com

SOLAR RADIO TELESCOPE RT-IZMIRAN-01

A.M. Shlyk, V.A. Kozlov, A.A. Abunin, M.A. Abunina, N.S. Shlyk

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Moscow, Russia
amshlik@gmail.com

Аннотация. Поскольку именно солнечная активность определяет состояние космической погоды в целом, а также околоземной среды (атмосферы, ионосферы и пр.) в частности, ее мониторинг и прогнозирование являются крайне важными задачами. Большинство моделей, определяющих состояние околоземного космического пространства, в качестве входного параметра используют информацию о состоянии солнечной активности. В рамках гранта РФФИ № 20-72-10023 в ИЗМИРАН ведутся работы по разработке отечественного солнечного радиотелескопа. Целью данной работы является ознакомление научного сообщества с основными принципами работы создаваемого детектора.

Ключевые слова: БШФФ, солнечная активность, радиотелескоп.

Abstract. Since solar activity determines the state of space weather in general and of near-Earth space (atmosphere, ionosphere, etc.) in particular, its monitoring and forecasting is an extremely important task. Most models that determine the state of near-Earth space use information about solar activity as an input parameter. Within the framework of the Russian Science Foundation Grant No. 20-72-10023, IZMIRAN is developing a domestic solar radio telescope. The purpose of this work is to familiarize the scientific community with the basic principles of operation of the created detector.

Keywords: BSFP, solar activity, radio telescope.

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная активность определяет состояние космической погоды как в любой точке гелиосферы в целом, так и в околоземном космическом пространстве в частности [Gaidash et al., 2017]. Подавляющее большинство моделей, определяющих состояние околоземной среды (атмосферы, ионосферы и пр.), в качестве входных параметров используют информацию о солнечной активности (см., например, [Шубин, 2017; Деминов и др., 2021]). В качестве количественной характеристики солнечной активности используется, например, число (или площади) солнечных пятен или величина потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см. Таким образом, чтобы анализировать текущее или прогнозируемое состояние околоземной среды, необходимо вести мониторинг солнечной активности.

На текущий момент информацию о потоке радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см (индекс $F_{10.7}$) можно получить в сети Интернет [<https://www.spaceweather.gc.ca/forecast-previous/solar-solaire/solarflux/sx-5-en.php>]. Источником этих данных является солнечный радиотелескоп наземного базирования, расположенный в Канаде (Пентинктон), который эксплуатируется с 1947 г. [Tapping, 2013].

Перед соавторами данной работы в рамках гранта РФФИ № 20-72-10023 была поставлена задача разработать отечественный детектор на современной элементной базе, способный регистрировать поток радиоизлучения Солнца на длине волны, близкой к 10.7 см. Окончание разработки и запуск в эксплуатацию инструмента планируется в 2023 г.

Цель данной работы состоит в ознакомлении научного сообщества с основными принципами работы создаваемого детектора.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОПОРНО-ПОВОРОТНОЙ ЧАСТИ РАДИОТЕЛЕСКОПА

Для позиционирования телескопа используется автоматизированная азимутальная монтировка, которая состоит из следующих компонентов: поворотное устройство, линейный актуатор и блок управления (см. рис. 1).

Антенное поворотное устройство Yaesu G-800DXA необходимо для управления положением антенны по азимуту. Устройство состоит из аналогового пульта управления и поворотного механизма и позволяет поворачивать устройство на угол 450°, выдерживая вертикальную нагрузку 164 кг. Данная система подключается к центральному блоку управления поворотным устройством для автоматического позиционирования радиотелескопа. Линейный актуатор, необходимый для определения угла места, установлен таким образом, чтобы можно было установить угол места от 0 до 90°. Центральный блок управления поворотным устройством на базе микроконтроллера Atmel ATmega2560 необходим для автоматического и ручного управления монтировкой. Автоматическое позиционирование осуществляется при помощи модуля часов реального времени DS3231 и координат текущего расположения радиотелескопа.

Алгоритм автоматического позиционирования следующий: 1) задаются GPS-координаты положения радиотелескопа; 2) задается время, в которое антенна радиотелескопа должна быть направлена на Солнце; 3) на основе GPS-координат для заданного времени рассчитываются азимут и угол места Солнца; 4) по полученным значениям азимута и угла места в заданное время производится позиционирование антенны при помощи поворотного устройства и актуатора.



Рис. 1. Внешний вид разрабатываемого отечественного солнечного радиотелескопа на длине волны, близкой к 10.7 см

Ручное позиционирование осуществляется оператором при помощи пульта управления, видеокамеры и контрольного монитора. Камера установлена на дне антенны в центре. Короткофокусный объектив камеры направлен на конвертер таким образом, чтобы конвертер отображался на контрольном мониторе в центре кадра. Перед объективом располагается затемняющий светофильтр ND32, а оператор может наблюдать изображение Солнца на контрольном мониторе и при необходимости направлять антенну при помощи пульта управления.

Перекрытие солнечного диска конвертером указывает на правильное позиционирование антенны. Кроме того, оператор может ориентироваться на показания анализатора спектра при наведении антенны.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИЕМНОГО ТРАКТА РАДИОТЕЛЕСКОПА

На рис. 2 представлено устройство приемного тракта. Приемная часть состоит из облучателя-конвертера и блока обработки сигнала. Конвертер состоит из малошумящего усилителя, полосового фильтра, смесителя, гетеродина и усилителя промежуточной полосы. Принятый конвертером сигнал преобразуется в более низкий спектр частот, что позволяет передавать его по коаксиальному кабелю с меньшими потерями.

С конвертера сигнал подается в разветвитель, а после него сигнал приходит на измеритель уровня сигнала, анализатор спектра и блок обработки сигнала. Измеритель уровня позволяет обнаружить мощные источники сигнала при наблюдениях, а также помогает проводить настройку приемного тракта.

Анализатор спектра позволяет наблюдать за спектром сигнала в измеряемой полосе частот, помогает выбрать частоту с отсутствием помех. Кроме того, он участвует в наладке и калибровке приемного тракта. Обработанный анализатором спектра сигнал поступает на сервер для хранения и обработки.

В свою очередь, блок обработки сигнала позволяет выбрать частоту для наблюдений с полосой пропускания 10 МГц, далее сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). После обработки в АЦП сигнал приходит на сервер для хранения и обработки данных.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КАЛИБРОВКИ

Калибровка приемного тракта производится в начале и конце сеанса наблюдения, а при необходимости и во время него с помощью генератора с диапазоном частот 2.7–3.1 ГГц. Антенна-облучатель генератора изготовлена из круглого волновода, закрепленного на рефлекторе антенны напротив облучателя-конвертера. С помощью контроллера генератора задается частота и уровень генерации.

Метод калибровки заключается в том, что генератор выдает сигнал заданных частот и амплитуд, а приемный тракт принимает этот сигнал и обрабатывает. Измеренный приемным трактом уровень сигнала сопоставляется с заданным уровнем сигнала генератора и уровнем сигнала, полученным с помощью анализатора спектра. Это позволяет оценить точность измеряемого приемным трактом сигнала, а также линейность в диапазоне частот и динамический диапазон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Космическая погода влияет на телекоммуникации, системы навигации и позиционирования, радары, космические системы и пр. Для решения ряда задач оценки текущего и прогнозного состояния околоземной среды очень важна регистрация потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см (индекс F10.7), поскольку данный параметр является ключевой входной характеристикой в используемых при этом моделях. Эти модели позволяют решать задачи, касающиеся не только научной (гражданской) составляющей, но и в целом обеспечения обо-

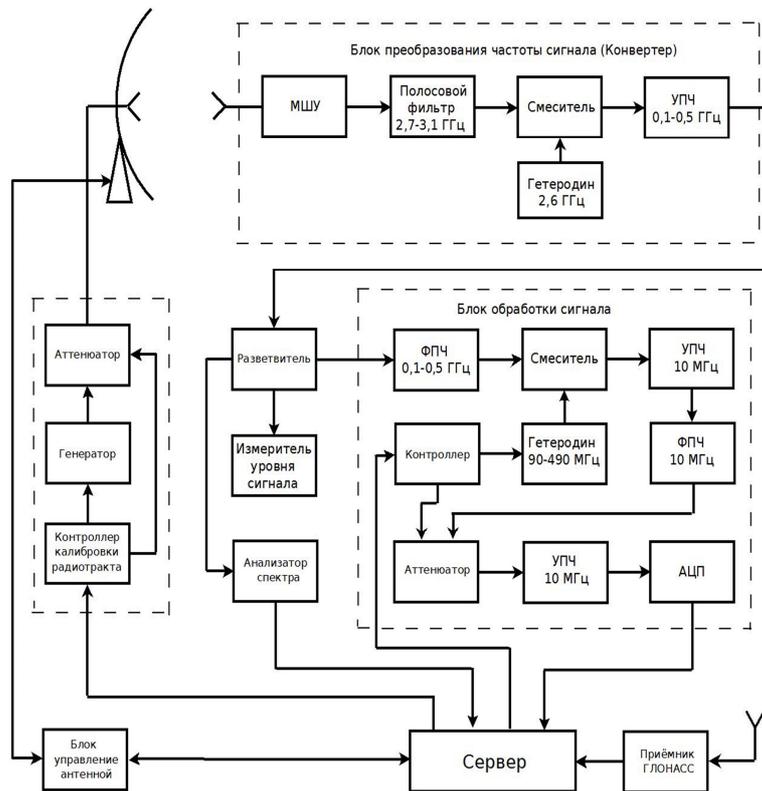


Рис. 2. Устройство приемного тракта разрабатываемого солнечного радиотелескопа

роны и безопасности страны, например, качество радиосвязи зависит от точности прогнозирования ионосферных условий, формирующихся солнечной активностью.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 20-72-10023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Деминов М.Г., Деминова Г.Ф., Дегуев В.Х., Дегуева А.Х. Связь среднего за месяц ионосферного индекса T с индексами солнечной и геомагнитной активности. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2021. Т. 61, № 6. С. 735–740.

Шубин В.Н. Глобальная эмпирическая модель критической частоты F2-слоя ионосферы для спокойных гео-

магнитных условий. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2017. Т. 57, № 4. С. 450–462.

Gaidash S.P., Belov A.V., Abunina M.A., Abunin A.A. Space weather forecasting at IZMIRAN. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2017. Vol. 57, no. 7. P. 869–877.

Tapping K.F. The 10.7 cm solar radio flux (F10.7). *Space Weather*. 2013. Vol. 11, iss. 7. P. 394–406.

URL: <https://www.spaceweather.gc.ca/forecast-previous/solar-solaire/solarflux/sx-5-en.php> (дата обращения: 25 мая 2022 г.).