

## Гелиограф радиотелескопа УТР-2. I. Общая схема

А. А. Станиславский, Э. П. Абранин, А. А. Коноваленко, А. А. Коваль

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
E-mail: alexstan@ri.kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 9 ноября 2010 г.*

Приводится подробное описание широкополосного аналого-цифрового гелиографа, созданного на базе радиотелескопа УТР-2. Этот прибор работает по параллельно-последовательному принципу, когда одновременно формируется пятерка равноразнесенных лучей диаграммы направленности антенной решетки, которыми сканируется заданный радиоисточник (например, корона Солнца). В результате полученное изображение представляет собой кадр из  $5 \times 8$  пикселей с пространственным разрешением  $25' \times 25'$ . Каждый пиксель получается из сигнала от соответствующего луча диаграммы направленности.

**Ключевые слова:** антенная решетка, радиотелескоп УТР-2, гелиограф, декаметровый диапазон, спокойное Солнце, солнечный всплеск

Работа состоит из трех частей. Настоящая статья – это первая ее часть, посвященная общей функциональной схеме гелиографа и обсуждению наиболее важных его особенностей. Основой любого радиогелиографа, и в этом гелиограф УТР-2 не исключение, является антенная система. Здесь приведено ее краткое описание применительно к конструкции гелиографа, а также подробный анализ современной конфигурации двумерного гелиографа декаметрового диапазона длин волн, построенного на базе Т-образной антенной системы УТР-2.

### 1. Введение

Всесторонняя информация о физических процессах, сопровождающих солнечную активность, может быть получена только с привлечением обширного арсенала наблюдательных средств. На метровых волнах для этой цели широко используются радиоспектрографы, гелиографы и поляриметры [1]. Хуже обстоит дело в декаметровом диапазоне. В частности, создание гелиографа является достаточно тех-

нически трудоемкой задачей. Для получения изображений с высоким пространственным разрешением (это одна из главных задач применения гелиографов) на столь низких частотах требуются антенны огромных размеров ( $>1$  км). Вместе с тем с помощью гелиографа можно получить новые полезные сведения относительно специфических для этого диапазона крайне многообразных типов всплесков.

Существенные преимущества имеет гелиограф в том случае, если он обеспечивает возможность одновременных наблюдений на нескольких частотах. Многочастотные измерения положений источников всплесков типов II и III позволяют непосредственно определять скорость ударных волн и скорость электронных пучков, которые распространяются в солнечной короне. Значительный интерес представляют измерения скорости электронных пучков, генерирующих всплески типов III и IIIb на различных участках траектории. Позиционные измерения на нескольких частотах возможно позволят оценить величину видимого смещения источников всплесков относительно

их истинного положения, вызванного рефракцией и рассеянием радиоволн в короне.

Таким образом, гелиограф дает возможность наблюдать угловую структуру источников всплесков и ее эволюцию за время их жизни, отождествлять всплески с соответствующими областями активности, измерять их высоты над фотосферой. Позиционные измерения двойных всплесков типов ШЬ-Ш, Ш-Ш и дрейфующих пар позволяют выяснить, возбуждаются ли оба компонента в одном и том же месте короны и на какой плазменной частоте. Особый интерес представляют исследования свойств и определение положений выбросов корональной массы, часто ассоциируемых со всплесками II типа. Это явление считается ключевым в проблемах солнечно-земных связей и космической погоды.

Не менее интересным направлением исследований оказываются наблюдения двумерных распределений яркости спокойного Солнца на декаметровых волнах. Вместе с тем, как известно, именно на высотах, на которых происходит генерация декаметрового излучения, находится наиболее интересная область короны, в которой зарождается солнечный ветер.

Приведенный здесь далеко не полный перечень задач, которые можно решать с помощью гелиографа, делает весьма привлекательной идею его построения. Тем более, если имеется возможность использовать уже готовую и подходящую для этой цели антенную систему.

## 2. Краткий очерк развития гелиографа радиотелескопа УТР-2

Первые позиционные наблюдения солнечно-го излучения с использованием двумерного гелиографа на основе радиотелескопа УТР-2 были проведены с 31 июля по 11 августа 1976 г. [2]. В то время повышенный уровень радиоизлучения был связан с появлением активной области McMath No. 14352 на восточном крае лимба, которая, двигаясь на запад, пересекала весь солнечный диск. За указанный период наблюдений были зарегистрированы многочисленные всплески III и ШЬ типов, всплески ШЬ-Ш типа, а также короткоживущие узкополосные стриа-всплески, являющиеся составляющими цепочек всплесков ШЬ типа. Ежедневные двухчасовые

измерения, центрированные на местный полдень, проводились на рабочей частоте 25 МГц, а также параллельно антенной решеткой “Север-Юг” (N-S), на выходе которой располагался динамический спектрограф, в полосе  $23.5 \div 25.5$  МГц. По записям гелиограмм были построены гистограммы распределения координат эффективных центров всплесков III типа и стриа-всплесков по часовому углу ( $h$ ) и склонению ( $\delta$ ) в выбранные дни для различных позиций активной области на диске Солнца. Позиционные данные средних значений координат центров источников всплесков были использованы для построения зависимости местоположения излучающей области ото дня ко дню. По скорости движения активной области, пересекавшей солнечный диск с востока на запад, оценивались средние значения высот  $R_s$  (радиальных расстояний от центра Солнца) источников всплесков III типа и стриа-всплесков во время радиобури. Высоты  $R_s$  определялись несколькими способами, которые давали близкие значения. В метровом и сантиметровом диапазонах длин волн радиальные расстояния излучающих областей в короне были вычислены в работах [3, 4]. Оценки  $R_s$ , сделанные на основе гелиографических наблюдений на УТР-2, оказались сравнимы друг с другом и соответствовали значениям, впервые полученным в декаметровом диапазоне в ходе интерференционных измерений в радиообсерватории Кларк Лейк (Clark Lake), США, на частоте 30 МГц при исследовании ряда шумовых бурь [5]. По записям гелиограмм был также сделан вывод о том, что стриа-всплески из ШЬ цепочек и всплески III типа возникают примерно в одном месте на картинной плоскости Солнца.

Последующие исследования, с использованием антенной системы УТР-2 в режиме двумерного гелиографа, были в основном сконцентрированы на изучении радиовсплесков IIIд типа с эхо-компонентами [6-12]. Декаметровые всплески IIIд были впервые зарегистрированы на УТР-2 в наблюдениях 6 июля 1973 г. Узкополосные элементы тонкой структуры этого излучения, диффузные стриа-всплески, представляют собой разновидность обыкновенных короткоживущих стриа-всплесков, из которых формируются изображения динамического спектра всплесков ШЬ типа. Главная особенность

диффузных стриа-всплесков состоит в том, что их вид в значительной степени зависит от гелиодолготы области источников в короне. Когда источник IIId типа находится в прилиम्бовой зоне, наблюдаются стриа-всплески с крутым фронтом и острой вершиной, монотонно затухающие в течение нескольких секунд. По мере приближения активной области к центральному солнечному меридиану происходит временное расщепление, т. е. появляется эхоподобная компонента всплесков с нарастающей задержкой. Величина задержки эхо-всплеска является максимальной, когда излучающая область пересекает центральный меридиан. Образование дополнительной эхо-компоненты всплеска и вариация задержки с гелиодолготой качественно объясняются на основе простой модели точечного импульсного источника, помещенного в сферически симметричную корону и излучающего на второй гармонике плазменной частоты [13]. Использование такой модели для интерпретации возникновения всплесков IIId типа было предложено в работах [6, 7]. Однако теоретически рассчитанные значения плохо согласовывались с величинами, измеренными с помощью УТР-2. Поэтому было сделано предположение [12], что эхо-компонента стриа-всплесков формируется не просто вследствие отражения от более глубокого слоя сферически симметричной короны, а в результате рефракции радиоволн на неких крупномасштабных корональных структурах. Данная гипотеза нашла свое подтверждение в работе [14], где автором проводилось математическое моделирование формирования всплесков типа IIId. За время систематических исследований Солнца антенной системой УТР-2 и позиционных наблюдений двумерным гелиографом в течение почти двух десятилетий было зарегистрировано свыше 10 шумовых радиобурь IIId типа. Следует отметить, что радиобури IIId типа наблюдаются довольно редко в отличие от всплесков III типа, которые являются наиболее массовыми событиями декаметрового спорадического излучения Солнца. С помощью комплексных наблюдений, включающих применение двумерного гелиографа, в июне 1984 г. в течение недельной радиобури III типа удалось зарегистрировать около 1000 всплесков

на частоте 25 МГц. На основе полученных данных была проведена статистическая обработка выборки декаметровых событий с использованием кластерного анализа [15]. Для статистической процедуры упорядочивания и разбиения выборки на кластеры использовались такие параметры всплесков, как временная задержка между двумя последующими всплесками, продолжительность всплеска по уровню половинной мощности, максимальная интенсивность и степень круговой поляризации.

Следует напомнить, что еще в середине 90-х гг. радиоастрономические наблюдения, выполняемые с помощью радиотелескопа УТР-2, проводились только вблизи нескольких фиксированных частот: 10.0, 12.5, 14.7, 16.7, 20.0 и 24.8 МГц, – хотя широкополосность данной антенной системы была значительно выше. С другой стороны, в качестве регистрирующего устройства, например для гелиографа, использовался фототелеграфный аппарат ФТАП-2 с записью сигнала на электрохимическую бумагу с динамическим диапазоном всего 10 ÷ 16 дБ. Все это ставило на повестку дня необходимость проведения широкой модернизации всего аппаратного комплекса УТР-2. После модернизации системы антенного усиления УТР-2 в конце 90-х гг. стало возможным осуществлять измерения в непрерывной полосе частот 10 ÷ 30 МГц [16]. В этой связи возникла острая необходимость установки соответствующей регистрирующей аппаратуры. С этой целью для проведения многочастотных наблюдений был введен в эксплуатацию 60-канальный спектроанализатор, который включал в себя 60 отдельных, перестраиваемых по частоте в диапазоне 10 ÷ 30 МГц радиоприемников с полосой 4 ÷ 10 кГц. Следующий шаг привел к применению цифровых многоканальных (от 1000 и более каналов) спектроанализаторов (цифровых приемников). Они уже позволяли перекрывать весь диапазон радиотелескопа УТР-2 с интервалом приблизительно 4 кГц, вести запись на цифровые носители и проводить разнообразную компьютерную обработку сигнала [17-19].

Самая первая конфигурация гелиографа на основе радиотелескопа УТР-2 выглядела следующим образом. Путем специальной системы управления лучами радиотелескопа УТР-2 уда-

валось быстро сканировать исследуемый участок неба. Регистрация его изображения осуществлялась с помощью подачи сигнала с выходов антенн N-S и W (“Запад”) на суммарно-разностное устройство. Суммарный и разностный сигналы усиливались отдельными приемниками с квадратичными детекторами. Выходы квадратичных детекторов имели встречное включение для получения разности их выходных напряжений. Это разностное напряжение и поступало на вход конечного регистрирующего устройства. На сегодняшний день радиоастрономические исследования, в основном, проводятся с использованием цифрового приемно-регистрирующего блока DSP (цифровой спектрополяриметр), который сочетает в себе функции приема, обработки сигнала и записи данных на винчестер персонального компьютера. Удивительно, но факт – хотя гелиограф УТР-2 был разработан давно и применялся в разнообразных радиоастрономических исследованиях, его полное, последовательное описание откладывалось из-за постоянной модернизации его аппаратных средств. За это время устройство гелиографа было значительно усовершенствовано, появились новые возможности в его применении, и назрела острая необходимость наконец подвести итоги его развития.

### 3. Антенная система

Использование для создания гелиографа готовой антенной системы во многом определило его схемное решение. Работающий в диапазоне 10 ÷ 30 МГц радиотелескоп УТР-2 подробно описан в работах [20, 21]. Здесь же мы приведем некоторые сведения относительно его антенной системы в той ее части, в какой это необходимо для понимания работы гелиографа в целом.

Антенная система радиотелескопа УТР-2 состоит из трех прямоугольных решеток: северной, южной и западной. Каждая из первых двух решеток (N и S) состоит из расположенных вдоль параллели 120 рядов по 6 широкополосных горизонтальных вибраторов в ряду. Решетка W состоит из расположенных вдоль параллели 6 рядов по 100 горизонтальных вибраторов в каждом. Горизонтальные вибраторы всех реше-

ток ориентированы вдоль линии восток–запад. Расстояние между ними по параллели составляет 9 м, а вдоль меридиана – 7.5 м.

В решетках с поэтажной (елочной) схемой сигналы горизонтальных вибраторов суммируются и фазированы с помощью дискретных кабельных линий задержки. Фазирование сигналов осуществляется независимо двумя системами по двум ортогональным координатам  $U$  и  $V$ , которые связаны с экваториальными координатами соотношениями

$$U = \cos \delta \sin t, \quad (1)$$

$$V = \sin \beta \cos \delta \cos t - \cos \beta \sin \delta,$$

где  $t$  и  $\delta$  – часовой угол и склонение соответственно, а  $\beta$  – географическая широта расположения антенны.

В антенне W присутствует один этаж фазирования по координате  $V$  и три этажа фазирования по  $U$ , в антенне N-S – один этаж фазирования по  $U$  и четыре этажа фазирования по  $V$ . Схемно суммирование и фазирование сигналов выполнено таким образом, что каждая из решеток перед последним этажом фазирования оказывается состоящей из четырех секций. При этом каждая из секций не имеет никаких общих схемных элементов с другими и объединяет 1/4 горизонтальных вибраторов соответствующей решетки. Для того чтобы приемная аппаратура не ухудшала отношение сигнал/шум, сигналы от всех секций усиливаются распределенными по антенне отдельными усилителями.

Усиленные сигналы восьми секций решеток N и S фазированы, усиливаются ярусом антенных усилителей, и затем каждый из них разветвляется с помощью гибридных разветвителей на 5 каналов. Фазированием с помощью постоянных задержек каждого из каналов всех восьми секций и последующим суммированием формируются 5 лучей антенны N-S, разнесенных по координате  $V$  на  $\Delta V = 1/150$ . При этом третий луч суммируется синфазно, образуя в направлении фазирования ( $U, V_3$ ) центральный луч. Направления лучей по  $V$  определяются соотношением

$$V_n = V_3 - \frac{n-3}{150},$$

где  $n$  – номера лучей, отсчитываемые от направления на юг. Направления всех 5 лучей лежат в одной плоскости  $V$ , для которой  $U_0 = \text{const}$ , а их часовые углы согласно соотношению (1) равны

$$t_n = \arcsin(U/\cos \delta_n).$$

Поскольку при фазировании лучей используются постоянные временные задержки, то расстояние между лучами по склонению будет

$$\Delta \delta \approx \Delta V / (\cos \beta \cos \delta + \sin \beta \sin \delta \cos t),$$

где  $t$  и  $\delta$  – часовой угол и склонение направления фазирования антенны (в зенитном направлении  $\beta = \delta$ ,  $t = 0$ ,  $\Delta \delta = 23'$ ).

Для формирования карандашных лучей каждый из выходов антенны  $W$  перемножается с одним из пяти лучей антенны  $N-S$ . При этом на частоте 25 МГц в зенитном направлении лучи имеют размеры  $28' \times 27'$  ( $t \times \delta$ ) по уровню половинной мощности. Что касается бокового излучения, то оно, как известно, в режиме перемножения плеч  $T$ -образных апертур оказывается большим в пределах углов множителей узких сторон решеток. Его максимальный уровень по мощности при равноамплитудном распределении токов по антенне составляет примерно 22 %, т. е. такой же, как у диаграмм направленности решеток по полю. Уровень бокового излучения регулируется путем изменения амплитуд токов секций антенны  $N-S$ .

В антенне применено несколько типов фазовращателей – с различным числом входов и дискретов, с суммированием сигналов после фазирования и без него. Сигнал с каждого входа фазовращателя попадает на линейку, представляющую собой коммутируемую двоично-дискретную кабельную линию временной задержки. Линейки по существу представляют собой отдельные фазовращатели, конструктивно объединенные в один. В качестве коммутирующих элементов используются высокочас-

тотные электромагнитные реле со временем срабатывания  $\sim 20$  мс и ресурсом  $\sim 10^5$  включений. Управление фазовращателями производится дистанционно с пульта вручную или по заданной программе с помощью персонального компьютера.

Сектор обзора телескопа ограничен значениями  $-1 \leq V_0 \leq 1$  и  $-7.5/9 \leq U_0 \leq 7.5/9$ . В этих пределах можно менять положение диаграммы направленности всех этажей обеих независимых систем фазирования решеток. В антенне применено асинхронное управление диаграммами направленности этажей, т. е. направления их могут не совпадать. При этом число дискретов (и значит их величина) фазовращателей этажей выбирается исходя из допустимого падения коэффициента направленного действия антенн, формирующих соответствующие диаграммы направленности. И так как по мере приближения к выходу решетки ширина диаграммы направленности горизонтальных вибраторов, фазированных одним фазовращателем этажа, уменьшается, то в нем возрастает число дискретов. Их максимальное число имеют только фазовращатели последних этажей, где фазируются секции антенн  $W$  и  $N-S$ . В антенне  $W$  используется фазовращатель на 4 входа, имеющий 10 разрядов, т. е. с  $2^{10} = 1024$  числом дискретов по  $U$ ; в антенне  $N-S$  – фазовращатель на 8 входов и 11 разрядов, обеспечивающий во всем секторе обзора  $2^{11} = 2048$  положений луча по  $V$ .

Лучи по  $U$  и  $V$  удобно пронумеровать следующим образом:  $0 \leq |N_U| \leq 511$  и  $0 \leq |N_V| \leq 1023$ , – приписывая им отрицательный знак, если луч направлен соответственно на восток и на север (аналогично координатам  $U$  и  $V$ ). Учет знака или выбор квадранта осуществляется старшими разрядами фазовращателей, а остальные 10 разрядов по  $V$  и 9 разрядов по  $U$  предназначены для записи абсолютных величин номеров луча. Номера луча по  $U$  и  $V$  связаны с направлением фазирования ( $U, V$ ) соотношениями:

$$N_U = 512 \cdot \frac{7.5}{9} U - 0.5 \text{sign } U, \tag{2}$$

$$N_V = 1024 V - 0.5 \text{sign } V.$$

Здесь функция  $\text{sign } x = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ -1, & x < 0. \end{cases}$

Для оптимизации величины фазовых ошибок из-за асинхронного управления лучом фазовращатели выполнены таким образом, что луч антенны не может быть направлен точно в зенит. В исходном положении во всех фазовращателях выключены коммутируемые задержки. Однако, благодаря имеющимся в фазовращателях постоянно включенным временным задержкам, направления диаграмм направленности этажей решетки оказываются смещенными на  $1/2$  дискрета соответствующего этажа.

Поскольку направление луча решетки определяется произведением, в общем случае не совпадающих по направлению диаграмм направленности этажей, направление фазирования луча антенны, строго говоря, не совпадает ни с одним из множителей. Однако с учетом того, что по обеим координатам ширина луча антенны оказывается более чем в 8 раз уже диаграммы направленности секции, направление фазирования с небольшой ошибкой будет совпадать с направлением наиболее острого множителя. Как показывают расчеты, ошибка в этом случае не будет превышать  $0.6'$  по  $t$  и  $0.4'$  по  $\delta$ , и ею можно пренебречь.

В таком случае в пределах сектора обзора луч радиотелескопа может быть ориентирован в любую точку неба с точностью не хуже  $1/2$  величины дискрета острого множителя. В экваториальных координатах ошибка в установке луча из-за дискретности управления будет зависеть от его направления. В секторе углов, где ведутся солнечные наблюдения, она достигает заметной величины (примерно  $3.5'$  и  $2.5'$  соответственно по  $t$  и  $\delta$ ). Поэтому желателен учет дискретности фазирования острого множителя.

Для определения истинного направления фазирования (третьего) луча радиотелескопа  $(U_0, V_3)$  достаточно по заданному расчетному направлению фазирования  $(U, V)$ , используя формулу (2), найти соответствующие значения  $N_U$  и  $N_V$ . Округлить их до целого значения можно по формуле

$$N^* = \text{int}(\text{abs } N) \cdot \text{sign } N,$$

где  $\text{abs}(x)$  – модуль числа  $x$ , а  $\text{int}(x)$  – его целая часть. Эти номера лучей  $(N_U^*, N_V^*)$  и соответствуют истинному направлению фазирования, которое находится по следующим из (2) соотношениям

$$U_0 = (\text{abs } N_U^* + 0.5) / (614.5 \text{sign}(N_U^* + 0.5)),$$

$$V_3 = (\text{abs } N_V^* + 0.5) / (1024 \text{sign}(N_V^* + 0.5)).$$

В случае необходимости направления лучей  $(U_0, V_n)$  в экваториальных координатах легко можно найти, используя приведенные выше соотношения.

#### 4. Функциональная схема гелиографа

На основании приведенных выше требований была предложена функциональная схема гелиографа, которая представлена на рис. 1. Устройство гелиографа включает в себя антенные решетки W и N-S. Дополнительный фазовращатель (быстрого сканирования) последовательно соединен с выходами секций антенны W. Блок формирования лучей фазировывает и суммирует сигналы секций антенн, а затем с помощью разветвителей формирует пятилучевой режим работы диаграммы направленности. Коммутаторы лучей плеч N-S и W поочередно подключают сигналы лучей из пятерки, а также шумовой сигнал от блока формирования маркеров к приемно-регистрирующему устройству, которое представляет собой цифровой спектроанализатор DSP. Блок формирования маркеров объединен с генератором шума и создает разделительные метки по прямому восхождению и метки конца (начала) кадра на гелиограммах. Интенсивность сигнала маркера конца (начала) кадра выше разделительного маркера между пятерками лучей благодаря наличию в схеме 3 дБ аттенуатора, что позволяет избежать трудностей при анализе гелиограмм. Блок управления обеспечивает работу коммутаторов лучей, блока формирования маркеров и фазовращателя быстрого сканирования.

Далее остановимся подробно на некоторых важных особенностях рассматриваемого прибора.

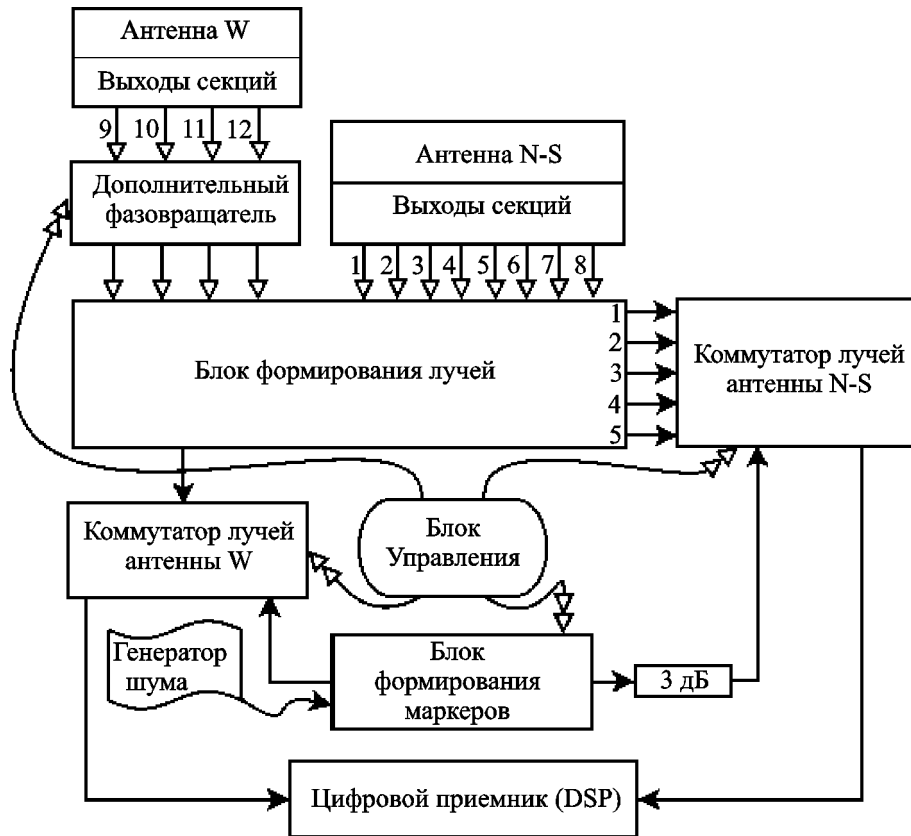


Рис. 1. Упрощенная блок-схема гелиографа

#### 4.1. Частота повторения изображения

Частота повторения изображения должна быть достаточно высокой, чтобы можно было наблюдать развитие всплеска во времени. Однако слишком высокая частота повторения приведет к падению чувствительности приемного устройства и усложнению регистратора. Максимальный темп повторения изображения был выбран равным 4 кадра в секунду. При такой частоте повторения гелиограф позволяет наблюдать всплески с длительностью  $\geq 1$  с, что вполне достаточно для данного диапазона радионаблюдений. При этом чувствительность приемного устройства остается еще достаточно высокой, а регистрирующее устройство простым и компактным. Столь высокая частота повторений изображений гелиографа нужна не всегда. Она может быть и меньше (например, для наблюдений спокойного Солнца). Такая возможность предусмотрена путем изменения

частоты тактирующих импульсов в блоке управления.

#### 4.2. Поляризация и полоса пропускания

При наблюдениях спорадического радиоизлучения Солнца, кроме определения координат всплесков, большой интерес представляют и измерения их поляризации. Однако из-за того что антенны радиотелескопа УТР-2 предназначены для приема только одной линейной поляризации, поляризационные измерения невозможны.

Для улучшения отношения сигнал/шум полоса пропускания должна быть достаточно широкой. Верхний предел ширины полосы пропускания определяется полосой частот наблюдаемого явления ( $\sim 1$  МГц). С другой стороны, в декаметровом диапазоне волн чрезвычайно велики плотность и интенсивность помех от коротковолновых радиовещательных станций. По этой причине ширина полосы про-

пускания не может быть больше нескольких килогерц. Поэтому общую полосу регистрации  $10 \div 30$  МГц удобно разбить на каналы по  $\sim 4$  кГц. Как будет показано в третьей части настоящей работы, с этой функцией прекрасно справляется цифровой приемник-спектроанализатор DSP.

#### 4.3. Коммутаторы

В гелиографе с последовательным формированием и регистрацией элементов изображения приемно-регистрирующее устройство последовательно подключается к выходам пяти лучей антенны N-S. В конце каждого цикла опроса лучей к приемно-регистрирующему устройству вместо антенн подключается вспомогательный генератор шума, с помощью которого формируются маркеры на гелиограмме.

В гелиографе используются два коммутатора: коммутатор лучей антенны N-S и коммутатор антенны W. Первый из них используется для поочередного подключения к одному из входов приемно-регистрирующего устройства выходов пятерки лучей антенны N-S и вспомогательного генератора шума. Коммутатор антенны W подключает ко второму входу приемно-регистрирующего устройства либо выход антенны W, либо вспомогательный генератор шума. Антенна W остается подключенной к приемно-регистрирующему устройству в течение всего времени опроса лучей. В конце каждого такого цикла опроса к обоим входам приемно-регистрирующего устройства вместо антенн подключается вспомогательный генератор шума.

Итак, коммутатор антенны W имеет два входа и один выход (на первый вход подается сигнал с выхода антенны W, на второй вход – сигнал для формирования маркера конца опроса пяти лучей), а коммутатор лучей антенны N-S имеет шесть входов и один выход (пять входов для подключения выходов пяти лучей антенны N-S и шестой вход для сигнала, формирующего маркер окончания опроса лучей и перехода к следующему циклу опроса). За время нахождения диаграммы направленности антенны W в заданном положении возможно выполнение нескольких циклов опроса лучей N-S. Сигнал с первого входа коммутатора антенны W поступает на выход коммутатора на время

опроса пяти лучей антенны N-S коммутатором лучей. Сигнал со второго входа поступает на выход во время включения шестого входа коммутатора лучей. Таким образом, в этом случае сигналы с выходов антенн N-S и W отключаются от входов приемно-регистрирующего устройства и вместо них подключаются сигналы для формирования маркера, который указывает на конец опроса пятерки лучей.

Одновременно с восьмым маркером конца опроса пятерки лучей должен формироваться маркер конца кадра для устранения возможных ошибок в определении границ кадров во времени. Маркер конца кадра можно совместить с меткой времени, если согласовать период переключения кодов в антенне УТР-2 и период переключения положения диаграммы направленности антенны W.

Коммутатор антенны W состоит из двух, а коммутатор лучей N-S – из шести одинаковых ячеек, в которых в качестве коммутирующих элементов служат полупроводниковые диоды, обладающие высоким быстродействием и большим сроком службы. Для устранения отражений от ненагруженных входов отключаемых каналов все они на время отключения нагружаются на согласованные нагрузки  $75 \text{ Ом}$ . Ослабление в открытых каналах коммутаторов составляет  $\sim 1.2 \div 1.5$  дБ и определяется в основном потерями в коммутирующих диодах. Конструктивно коммутатор лучей антенны N-S и коммутатор антенны W выполнены в виде двух отдельных печатных плат. В каждом коммутаторе имеется схема контроля, которая позволяет быстро обнаружить неисправности, возникающие в процессе работы.

## 5. Выводы

В настоящей статье рассмотрена функциональная схема гелиографа декаметрового диапазона длин волн. Его основой является антенная система УТР-2. Медленное слежение за радиоисточником осуществляется штатным аппаратным комплексом радиотелескопа УТР-2. Перемещение луча диаграммы направленности этой антенны в границах поля обзора гелиографа выполняет специально разработанный фазовращатель, который будет детально



рассмотрен в следующей статье, посвященной данному инструменту. Регистрация изображения гелиографом происходит с помощью последовательной подачи сигнала в каждом положении карандашного луча радиотелескопа УТР-2 из 40 его возможных положений в отдельном кадре гелиографа. Частота повторения изображения гелиографа может быть выбрана как достаточно большой (пригодной для анализа пространственных характеристик быстрых солнечных всплесков), так и малой (удобной для исследования верхней короны спокойного Солнца).

Авторы благодарны В. В. Захаренко за полезные замечания и обсуждение результатов работы.

### Литература

1. Krüger A. Introduction to Solar Radio Astronomy and Radio Physics. – Berlin: Springer, 1979. – 356 p.
2. Abranin E. P., Baselyan L. L., Goncharov N. Y., Zaitsev V. V., Zinichev V. A., Rapoport V. O., and Tsybko Ya. G. Positions of solar storm burst sources by observations with a heliograph based on the UTR-2 antenna at 25 MHz // Sol. Phys. – 1980. – Vol. 66, No. 2. – P. 393-409.
3. Malinge A.-M. Relation entre les oranges radioelectriques solaires et les eruptions chromospheriques // Ann. Astrophys. – 1960. – Vol. 23, No. 4. – P. 574-584.
4. Boisshot A. Sur quelques caracteristiques des sursauts de type IV. I // Ann. Astrophys. – 1968. – Vol. 31, No. 4. – P. 445-455.
5. Gergely T. E. and Kundu M. R. Decameter storm radiation, II // Sol. Phys. – 1975. – Vol. 41, No. 1. – P. 163-188.
6. Abranin E. P., Baselyan L. L., Zaitsev V. V., Rapoport V. O., and Tsybko Ya. G. Radio echo and sporadic scattering in the solar corona // Sol. Phys. – 1982. – Vol. 78, No. 1. – P. 179-186.
7. Abranin E. P., Baselyan L. L., Zaitsev V. V., Rapoport V. O., and Tsybko Ya. G. Multiple radio echoes in the solar corona // Sol. Phys. – 1984. – Vol. 91, No. 2. – P. 383-398.
8. Абрагин Э. П., Базелян Л. Л., Цыбко Я. Г. Параметры динамического спектра солнечных декаметровых радиовсплесков IIIId типа с эхокомпонентами // *Астрономический журнал*. – 1996. – Т. 73, №6. – С. 939-946.
9. Абрагин Э. П., Базелян Л. Л., Цыбко Я. Г. Квазипериодическая структура солнечных радиовсплесков IIIId типа с эхокомпонентами // *Изв. вузов. Радиофизика*. – 1997. – Т. 40, №9. – С. 1073-1085.
10. Абрагин Э. П., Базелян Л. Л., Цыбко Я. Г. Предварительные данные двумерного радиогелиографа относительно декаметровых всплесков излучения IIIId типа с эхокомпонентами // *Изв. вузов. Радиофизика*. – 1998. – Т. 41, №1. – С. 105-120.
11. Абрагин Э. П., Базелян Л. Л., Цыбко Я. Г. Новый спектральный вариант декаметровых всплесков типа IIIId. Наблюдения сверхрелятивистских источников узкополосного радиоизлучения в окрестностях Солнца // *Изв. вузов. Радиофизика*. – 1999. – Т. 42, №5. – С. 403-417.
12. Абрагин Э. П., Базелян Л. Л., Цыбко Я. Г. Амплитудные профили солнечных радиовсплесков IIIId типа с эхо-компонентой и глобальная дислокация их элементарных квазимонохроматических источников // *Изв. вузов. Радиофизика*. – 2000. – Т. 43, №12. – С. 1027-1043.
13. Riddle A. C. On the observation of scattered radio emission from sources in the solar corona // Sol. Phys. – 1974. – Vol. 35, No. 1. – P. 153-169.
14. Afanasiev A. N. Mathematical modeling of the formation of type IIIId solar decameter radio bursts with echo components // Sol. Phys. – 2006. – Vol. 238, No. 1. – P. 87-104.
15. Stepanova N. A., Baselyan L. L., Abranin E. P., Brazhenko A. I., Sapogov S. A., and Tsybko Ya. G. Decameter solar type III bursts: data classification with use of cluster analysis // Sol. Phys. – 1995. – Vol. 156, No. 1. – P. 131-143.
16. Абрагин Э. П., Брук Ю. М., Захаренко В. В., Коноваленко А. А. Структура и параметры новой системы антенного усиления радиотелескопа УТР-2 // *Радиофизика и радиоастрономия*. – 1997. – Т. 2, №1. – С. 95-102.
17. Kleewein P., Rosolen C., and Lecacheux A. New Digital Spectrometers for Ground-Based Decameter Radio Astronomy: in Planetary Radio Emissions IV / Ed. by H. O. Rucker, S. J. Bauer, and A. Lecacheux. – Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 1997. – P. 349-357.
18. Lecacheux A., Rosolen C., Clerc V., Kleewein P., Rucker H. O., Boudjada M. Y., and Van Diel W. Digital techniques for ground-based low frequency radioastronomy // Proc. SPIE. – 1998. – Vol. 3357. – P. 533-542.
19. Lecacheux A., Konovalenko A. A., and Rucker H. O. Using Large radio telescope at decameter wavelength // Planet. Space Sci. – 2004. – Vol. 52. – P. 1357-1374.
20. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 // *Антенны*. – М.: Связь. – 1978. – Т. 26. – С. 3-15.
21. Мень А. В., Содин Л. Г., Шарькин Н. К., Брук Ю. М., Мельяновский П. А., Инютин Г. А., Гончаров Н. Н. Принципы построения и характеристики антенн радиотелескопа УТР-2 // *Антенны*. – М.: Связь. – 1978. – Т. 26. – С. 15-57.

**Геліограф радіотелескопа УТР-2.  
I. Загальна схема**

**О. О. Станиславський, Е. П. Абранін,  
О. О. Коноваленко, А. О. Коваль**

Наводиться детальний опис широкопasmового аналого-цифрового геліографа, створеного на базі радіотелескопа УТР-2. Цей прилад працює за паралельно-послідовним принципом, коли одночасно формується п'ятірка рівнорознесених променів діаграми спрямованості антенної решітки, якими сканується задане радіоджерело (наприклад, корона Сонця). У результаті отримане зображення є кадром з  $5 \times 8$  пікселів з просторовим кутом  $25' \times 25'$ . Кожен піксель утворюється з сигналу від відповідного променя діаграми спрямованості.

**Heliograph of the UTR-2 Radio Telescope.  
I. General Scheme**

**A. A. Stanislavsky, E. P. Abranin,  
A. A. Konovalenko, and A. A. Koval**

A detailed description of the wideband analog-digital heliograph based on the UTR-2 radio telescope has been suggested. This device operates in the parallel-serial scheme, when five uniformly spaced beams (formed simultaneously) of the antenna pattern scan a given radio source (e. g. solar corona). As a result, the obtained image represents a cadre consisting of  $5 \times 8$  pixels with the spatial resolution  $25' \times 25'$ . Every pixel is caused by a signal from the corresponding beam of the antenna pattern.