

## Гелиограф радиотелескопа УТР-2. II. Конструктивные особенности

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

*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.*

Настоящая статья представляет собой вторую часть работы, посвященной детальному описанию гелиографа, созданного на базе радиотелескопа УТР-2. В ней изложена конструкция наиболее важного элемента гелиографа – фазовращателя быстрого сканирования лучей, а также приводится расчет длин его коммутируемых кабелей. Именно с помощью этого фазовращателя формируется изображение в данном гелиографе.

**Ключевые слова:** антенная решетка, радиотелескоп УТР-2, гелиограф, декаметровый диапазон, фазовращатель

### 1. Введение

На сегодняшний день число радиотелескопов, позволяющих получить двумерные изображения Солнца и других источников космического радиоизлучения, сравнительно невелико. В микроволновом диапазоне они представлены гелиографом в Нобеяма (Япония), работающим на двух частотах, 17 и 35 ГГц [1], и гелиографом на базе инструмента РАТАН-600 (Россия), работающем на частоте 3.75 ГГц [2]. Примерно в этом диапазоне ведутся также наблюдения на Сибирском солнечном радиотелескопе (Россия) [3] на частоте 5.7 ГГц и на радиоинтерферометре Оуэнс Вэлли (США) в полосе частот 1÷18 ГГц с разбиением на 86 отдельных частот [4]. В число развивающихся инструментов можно включить проект Китайского гелиографа, с помощью которого будут проводить радиоизмерения в полосе 0.4÷15 ГГц [5]. Для радиоастрономических исследований в сантиметровом и метровом диапазонах используются радиогелиограф в Нансе (Франция) [6], работающий только на частотах 169, 327 и 408 МГц, и радиогелиограф в Гаурибидануре (Индия), на котором проводятся измерения на отдельных частотах в полосе 40÷150 МГц [7]. С 1969 по 1984 гг. на частотах 43, 80, 160 и 327 МГц функционировал радиогелиограф в Калгурре

(Австралия) [8]. В декаметровой области длин волн таких инструментов было совсем мало. В этой связи необходимо упомянуть Т-образный радиотелескоп в Кларк Лейк (США) [9]. На нем проводились измерения на отдельных частотах в полосе 15÷125 МГц. В настоящее время он уже выведен из эксплуатации. Следует сказать, что создание антенных решеток, функционирующих на низких частотах (в декаметровом диапазоне длин волн), сопряжено с большими техническими и методическими трудностями. В этом диапазоне очень тяжелая помеховая обстановка, на характер распространения декаметровых волн существенно влияет ионосфера, создание узкой диаграммы направленности требует антенны огромных площадей. Например, антенна NDA (Нансе, Франция) [10] эффективно используется для получения динамических спектров радиоизлучения Солнца, но из-за небольших размеров она практически не используется для гелиографических наблюдений. В силу этих причин сейчас существуют только несколько антенных систем декаметрового диапазона, подходящих для гелиографических наблюдений, но и они имеют ограниченные возможности, а значит, следует их модернизировать или строить новые антенные системы. Достаточно упомянуть о многообе-

щающих проектах LOFAR [11, 12] и LWA [13], ввод в эксплуатацию которых ожидается в ближайшее время. Поэтому исследования, проводимые с помощью гелиографа на базе радиотелескопа УТР-2, представляют большой научный интерес, восполняя пробелы в понимании физических процессов, происходящих на Солнце и/или в околосолнечном пространстве. Отметим, что радиотелескоп УТР-2 до настоящего времени остается самым крупным и наиболее эффективным инструментом, работающим в диапазоне  $8 \div 32$  МГц и будет оставаться таковым и в отдаленном будущем. Поэтому его активная модернизация, оснащение и применение (в том числе в гелиографическом режиме) даст еще множество полезных астрофизических результатов.

Цель настоящей работы – представить описание конструкции наиболее важного элемента гелиографа радиотелескопа УТР-2, а именно фазовращателя быстрого сканирования лучей. Основой его являются коммутируемые коаксиальные кабели линий задержки. Здесь описан метод расчета длин этих коммутируемых кабелей. С помощью устройства управления гелиографом формируется последовательность импульсов для переключения фазовращателя быстрого сканирования и генерации меток сканов. В результате луч диаграммы направленности радиотелескопа УТР-2 осуществляет сканирование заданного участка небесной сферы.

## 2. Система обзора

Сектор обзора УТР-2 позволяет наблюдать Солнце примерно  $\pm 4$  ч от местного полудня. Однако практически, из-за экранирования ионосферой под большими зенитными углами наблюдений, возрастающего числа принимаемых радиотелескопом радиовещательных станций и ухудшения пространственного разрешения гелиографа, сектор обзора ограничен по склонению  $\delta \geq 10^\circ$  и по часовому углу  $|t| \leq 30^\circ$ .

Пятилучевой режим работы радиотелескопа УТР-2 и управление лучом по двум координатам  $U$  и  $V$  позволяет в принципе использовать его без какой-либо реконструкции в качестве двухмерного гелиографа с последовательным или параллельно-последовательным обзором. Более того, сформировав у антенны

“Запад” ( $W$ ) по координате  $U$  несколько лучей, можно построить гелиограф параллельного обзора, где реализуется максимальная чувствительность. Но эта возможность пока не используется, поскольку требует изготовления значительного объема аппаратуры.

Для наблюдения как возмущенного, так и “спокойного” радиоизлучения Солнца, для чего используется штатная регистрирующая аппаратура радиотелескопа, возможно применение параллельно-последовательной системы обзора. В этом случае одновременно пятью параллельными каналами фиксируются сигналы на выходах всех пяти лучей антенн N-S (“Север-Юг”) и W. Что же касается наблюдений радиоизлучения Солнца с помощью гелиографа, построенного по последовательному принципу, то в отличие от предыдущего случая требуется только один комплект приемно-регистрирующей аппаратуры.

И в том и другом случае пятерка лучей, расположенных в плоскости  $V$ , последовательно занимает ряд положений по  $U$ . Достигается это путем сканирования диаграммой направленности  $W$  решетки. Поскольку лучи имеют примерно одинаковые размеры по обеим координатам  $U$  и  $V$ , очевидно целесообразно выбрать в этих направлениях одинаковые расстояния между ними, т. е.  $\Delta U = \Delta V = 1/150$ .

Выигрыш в затратах на регистрирующую аппаратуру в случае использования последовательного обзора по сравнению с параллельно-последовательным становится особенно ощутимым, если иметь в виду неоспоримую целесообразность работы гелиографа одновременно на разных частотах. Конечно, с понижением частоты эффективность наблюдений падает из-за малого пространственного разрешения. Оно даже на частоте 25 МГц оказывается недостаточным для весьма важных измерений распределения яркости источников декаметрового излучения Солнца. Однако с этим приходится мириться, помня, что в данном случае мы имеем дело с декаметровым диапазоном длин волн. Сооружение антенных систем для этого диапазона, размеры которых заметно превышали бы размеры антенной системы УТР-2, само по себе является весьма проблематичным, а кроме того, на декаметровых волнах имеет место ограничение на размеры антенны, накладываемое декорреляцией принимаемого сигнала, вызванной ионосферой.

### 3. Конструкция фазовращателя быстрого сканирования

Система управления лучом гелиографа выполняет две функции: относительно медленное сопровождение Солнца и быстрое сканирование по области обзора гелиографа.

Хотя радиотелескоп УТР-2 создавался как многофункциональный инструмент, его система фазирования из-за применения в ней электромагнитных реле не допускает длительных наблюдений с быстрым сканированием луча. Поэтому в гелиографе на систему фазирования УТР-2 возложена только функция сопровождения Солнца с темпом переключения луча в несколько минут. Что же касается быстрого сканирования, то эту функцию выполняет специально разработанная система фазирования.

Она, как уже отмечалось, должна дискретно изменять положение диаграммы направленности решетки  $W$  по  $U$ . Сложность системы быстрого сканирования лучом определяется местом ее включения в схему фазирования антенны, поскольку она должна охватывать все последующие этажи и не касаться всех предыдущих. С точки зрения простоты ее целесообразно включить как можно ближе к выходу решетки.

С другой стороны, место ее включения определяется сектором обзора гелиографа по координате  $U$ . Его ширина должна быть сравнима с шириной диаграммы направленности элементов, которые фазируются этим этажом, или быть меньше ее. На последнем этаже, где фазируются сигналы выходов секций антенны  $W$ , ширина диаграммы направленности по полю составляет примерно  $3^\circ$  на частоте 25 МГц. Такой сектор обзора гелиографа по  $U$  оказывается вполне достаточным даже для наблюдения на частоте 12 МГц, где радиодиаметр короны Солнца составляет около  $1.5^\circ$ . Для включения системы быстрого сканирования на последнем этаже фазирования требуется всего лишь один фазовращатель на 4 входа.

Фазовращатель быстрого сканирования лучом схемно включается между выходами секций и соответствующими входами последнего этажа фазирования антенны  $W$ . При этом диаграмма направленности секции оказывается огибающей максимумов сканирующего луча.

Конструктивно фазовращатель быстрого сканирования выполнен аналогично тому, как было

сделано в системе фазирования УТР-2 [14]. С той лишь разницей, что в нем отрезки коаксиального кабеля коммутируются с помощью диодных ключей, у которых большие срок службы и быстродействие ( $\sim 0.5$  мс). Фазовращатель объединяет четыре линейки, каждая из которых представляет собой трехразрядную дискретно-двоичную линию временных задержек. Поэтому для краткости мы будем в дальнейшем называть этот фазовращатель ФВ4-3. Между собой линейки отличаются только величинами коммутируемых временных задержек. Цепь управления одноименными разрядами всех линеек включена параллельно.

Использование диодных ключей и отрезков коаксиального кабеля в качестве временных задержек обеспечивает широкополосность такого фазовращателя. Отклонение фазы сигнала от расчетного значения не превышает  $5^\circ$  на частоте 25 МГц. Начальные длины кабелей в линейках фазовращателя ( $l_0$ ) выбраны таким образом, что в исходном положении (все задержки выключены) луч антенны  $W$  оказывается расположенным восточнее направления фазирования  $U_0$ . По мере того как фазовращатель проходит все свои 8 положений, луч с шагом  $\Delta U = 1/150$  перемещается с востока на запад.

Сектор обзора естественно выбрать расположенным симметрично относительно направления фазирования  $U_0$ . Так как число положений фазовращателя четное, то ни одно из его положений не совпадает с  $U_0$ . Сканирующая пятерка лучей по  $V$  последовательно принимает значения по  $U$  так, что

$$U_m = U_0 + \frac{m - 4.5}{150}, \quad (1)$$

где номер положения луча  $1 \leq m \leq 8$ . При этом не требуется фазирования антенны N-S по  $U$ , поскольку ширина ее диаграммы направленности велика по сравнению с сектором сканирования антенны  $W$ . В антенну N-S дополнительно включается только отрезок кабеля, длина которого компенсирует среднюю электрическую длину фазовращателя быстрого сканирования.

Для калибровки приемно-регистрирующего тракта гелиографа необходимо выровнять электрические длины антенн  $W$  и N-S. Так как при  $U_0 = V_0$  и любом  $m$ , согласно выражению (1),

имеем  $U_m \neq 0$ , необходимо для выравнивания использовать дополнительные кабельные задержки. В рабочем режиме они выключаются.

#### 4. Расчет кабелей ФВ4-3

При работе гелиографа максимальное дополнительное отклонение луча УТР-2 по  $U$  относительно направления, заданного системой фазирования радиотелескопа,  $\Delta U = 7/300$ . Фазовый центр фазовращателя быстрого сканирования ФВ4-3 гелиографа совмещен с фазовым центром антенны N-S (фазовращатель со смещенным фазовым центром). Пространственное расположение фазовых центров антенны N-S и секций плеча  $W$  показано на рис. 1.

Для выравнивания фаз принимаемых сигналов на выходах всех элементов антенной системы естественные разности хода  $L, l_1, l_2, l_3, l_4$  компенсируются с помощью дополнительных длин линий задержки (кабелей) в ФВ4-3 (смотри рис. 2). Электрические длины дополнительных линий задержки имеют величины  $L_z$ ,

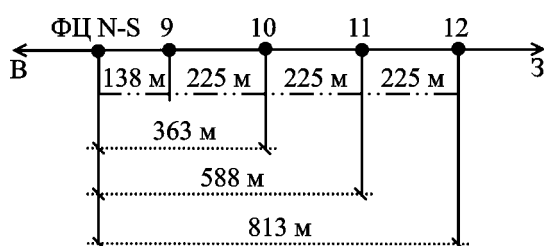


Рис. 1. Пространственное расположение фазовых центров (ФЦ) антенны N-S и секций плеча антенны W (9, 10, 11, 12 – номера секций)

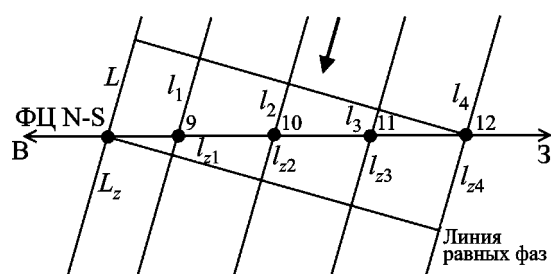


Рис. 2. Компенсация разностей хода введением добавочных длин линий задержки ( $L_z, l_{z1}, l_{z2}, l_{z3}, l_{z4}$ )

$l_{z1}, l_{z2}, l_{z3}, l_{z4}$ , причем  $L_z = l_4, l_{z1} = L - l_1, l_{z2} = L - l_2, l_{z3} = L - l_3, l_{z4} = L$ .

При отклонении луча к востоку и при неизменном положении фазового центра в центре антенны N-S для компенсации разностей хода потребуется включение отрицательных длин в антенне W, что невозможно. Поэтому фазовый центр смещается путем подключения дополнительной длины  $L_z = l_4$  (рис. 3). Эта дополнительная длина остается включенной постоянно при отклонении луча как к востоку, так и к западу, но компенсирующие длины в ФВ4-3 соответствующим образом изменяются.

Поскольку максимальное отклонение луча гелиографа по  $U$  есть  $\Delta U_{\max} = 7/300$  и максимальное расстояние между крайними фазируемыми элементами  $L_m = 138 + 3 \cdot 225 = 813$  м, величина  $L_z = L_m \Delta U_{\max} = 813 \cdot 7/300 = 18.97$  м. При отклонении на восток фазирующие электрические длины имеют значения:

$$L_0 = L_z,$$

$$l_{01} = 225 \cdot 3 \cdot 7/300 = 15.75 \text{ м},$$

$$l_{02} = 225 \cdot 2 \cdot 7/300 = 10.5 \text{ м},$$

$$l_{03} = 225 \cdot 7/300 = 5.25 \text{ м},$$

$$l_{04} = 0.$$

При отклонении на запад фазирующие электрические длины составляют:

$$L_z = 0 + l_z = 0 + 813 \cdot 7/300 = 18.97 \text{ м},$$

$$l_{z1} = 138 \cdot 7/300 + L_z = 3.22 + 18.97 = 22.19 \text{ м},$$

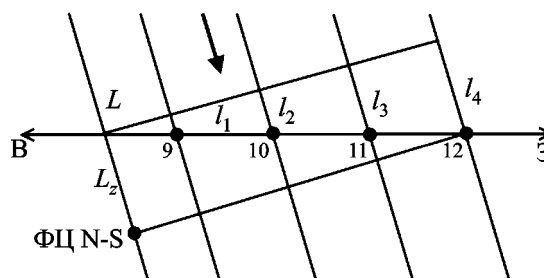


Рис. 3. Смещение позиции фазового центра (ФЦ) антенны N-S путем добавления постоянной длины  $L_z$  при отклонении луча к востоку

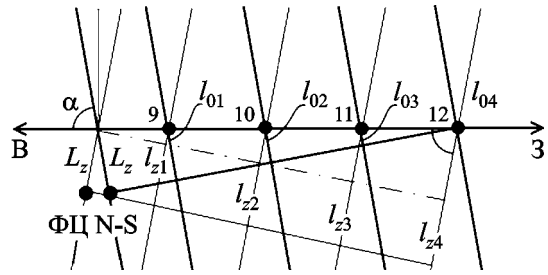
$$\begin{aligned}
 l_{z2} &= (138 + 225) \cdot 7/300 + L_z = \\
 &= 8.47 + 18.97 = 27.44 \text{ м}, \\
 l_{z3} &= (138 + 2 \cdot 225) \cdot 7/300 + L_z = \\
 &= 13.72 + 18.97 = 32.69 \text{ м}, \\
 l_{z4} &= (138 + 3 \cdot 225) \cdot 7/300 + L_z = \\
 &= 18.97 + 18.97 = 37.94 \text{ м}.
 \end{aligned}$$

Тогда длины, которые коммутируются во время работы ФВ4-3, соответственно должны иметь значения:

$$\begin{aligned}
 L_k &= L_z - L_0 = L_z - L_z = 0, \\
 l_{k1} &= l_{z1} - l_{01} = 22.19 - 15.75 = 6.44 \text{ м}, \\
 l_{k2} &= l_{z2} - l_{02} = 27.44 - 10.5 = 16.94 \text{ м}, \\
 l_{k3} &= l_{z3} - l_{03} = 32.69 - 5.25 = 27.44 \text{ м}, \\
 l_{k4} &= l_{z4} - l_{04} = 37.94 - 0 = 37.94 \text{ м}.
 \end{aligned}$$

Линии задержки построены по двоичному принципу и имеют по три коммутируемых разряда. Величины задержек в разрядах соотносятся между собой как 1:2:4. Кроме коммутируемых элементов, в состав линий задержки входят также некоммутируемые элементы  $l_{01}, l_{02}, l_{03}, l_{04}$ . Такая конструкция линий задержки позволяет дискретно перемещать луч гелиографа в восемь дискретных положений по координате  $U$  с шагом  $1/150$  в пределах от  $-7/300$  до  $+7/300$  (рис. 4). Переключение разрядов всех линий происходит синхронно.

При выбранной конструкции линий задержки длина младшего разряда  $l_I = l_k/7$ , длина второго разряда  $l_{II} = 2 \cdot l_k/7$  и длина третьего разряда  $l_{III} = 4 \cdot l_k/7$ . Постоянная длина, включаемая в антенну N-S, равна  $L_0 = 18.97$  м. Все элементы ФВ4-3 выполнены из коаксиального кабеля РК 75-9-12 с волновым сопротивлением 75 Ом и коэффициентом укорочения волны  $k = 1.51$ . Кроме того, для включения ФВ4-3 в систему фазирования УТР-2 каждая линия задержки должна быть дополнена двумя технологическими кабелями с суммарной длиной  $l_t = 5$  м. Суммарная длина технологических кабелей в каждой линии добавляется к длине некоммутируемого отрезка кабеля  $l_0$ . В таблице приведены скорректированные длины кабелей ФВ4-3 с учетом коэффициента укорочения



**Рис. 4.** Схематическое изображение положения диаграммы направленности антенной системы УТР-2 в крайних западной и восточной позициях:  $L_z, l_{01}, l_{02}, l_{03}, l_{04}$  – фазирующие длины при отклонении диаграммы направленности на восток;  $L_z, l_{z1}, l_{z2}, l_{z3}, l_{z4}$  – фазирующие длины при отклонении диаграммы направленности на запад с учетом постоянно включенной добавки  $L_z$

**Таблица.** Величины длин кабельных линий задержек фазовращателя (в метрах),  $l_0$  – начальная длина,  $l_I, l_{II}, l_{III}$  – коммутируемые длины

Длина	Секции антенны W			
	№9	№10	№11	№12
$l_0$	15.43	11.95	8.48	5.0
$l_I$	0.61	1.60	2.60	3.59
$l_{II}$	1.22	3.20	5.19	7.18
$l_{III}$	2.44	6.41	10.38	14.36

волны и технологических добавок к некоммутируемым линиям задержки. Технологическая длина добавляется также к кабелю в антенне N-S, таким образом  $L_0 = 17.56$  м.

Ослабление в фазовращателе при изменении длины линии задержки от 0 до 38 метров изменяется в пределах от 3.3 до 4 дБ и обусловлено в основном потерями в коммутационных диодах.

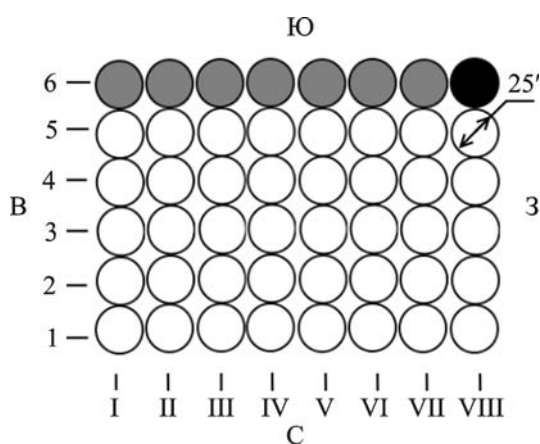
## 5. Формат области обзора гелиографа

Итак, гелиограмма формируется благодаря тому, что с помощью фазовращателя быстрого сканирования пятерка разнесенных по координате  $V$  карандашных лучей занимает последовательные положения по координате  $U$ . Таким образом, полное изображение области обзора гелиографа представляет собой прямоугольную

матрицу из 5 строк и 8 столбцов – 40 элементов, разнесенных по часовому углу и по склонению на  $25'$  (см. рис. 5). Угловой размер изображения по часовому углу составляет  $\sim 3.3^\circ$  на частоте 25 МГц.

Такое соотношение между числом элементов по склонению и прямому восхождению учитывает то обстоятельство, что в близкие к минимальной активности годы экваториальный диаметр декаметрового радиоизображения короны Солнца почти в 1.5 раза превышает полярный. Кроме того, источники декаметрового радиоизлучения Солнца, как известно, также концентрируются в экваториальной плоскости. Вместе с тем для ряда задач не требуется столь большой сектор обзора по  $U$ . Поэтому предусмотрена возможность изменения числа элементов в строках, что позволяет увеличить скорость обзора (частоту смены кадров).

В координатах  $U, V$  элементы изображения образуют прямоугольный кадр. Однако результаты наблюдений предпочтительней представлять в экваториальных координатах. И с точки зрения их наглядности было бы лучше, чтобы положения лучей на солнечном диске оставались неизменными. Но, как отмечалось, в режиме сопровождения Солнца гелиографом изменяются расстояния между лучами как по  $t$ , так и по  $\delta$ . Для того чтобы не возникли дополнительные искажения, связанные с быстрым сканированием по  $U$ , необходимо, чтобы при



**Рис. 5.** Поле изображения, формируемое гелиографом с разрешением  $5 \times 8$  пикселей. Угловой размер каждого элемента по  $t$  и  $\delta$  составляет  $25'$ . Серые и черные точки представляют собой разделительные маркеры

всех положениях пятерки лучей по  $U$  склонение третьего луча оставалось неизменным. Это можно обеспечить на каждом шаге по  $U$  соответствующим фазированием по  $V$  антенны N-S. При каждом  $U_m$  величина  $V$  должна быть такой, чтобы правая часть выражения

$$\sin \delta_{m3} = -V \cos \beta + \sin \beta \sqrt{1 - U_m^2 - V_3^2},$$

оставалась постоянной. Здесь  $\beta$  – географическая широта расположения антенны УТР-2.

Чтобы это осуществить, необходим трехрядный фазовращатель на 8 входов и требуется существенное усложнение аппаратуры управления фазовращателями. Поэтому в гелиографе сканирование пятерки лучей осуществляется только управлением диаграммы направленности антенны W по  $U$ .

Система слежения радиотелескопа УТР-2 осуществляет слежение за Солнцем, совмещая центр области обзора с центром солнечного диска. Следует отметить, что прямоугольная форма раstra сохраняется только при работе вблизи меридиана. В других случаях форма раstra может существенно отличаться от прямоугольной. Это явление обусловлено тем, что при управлении положением диаграмм направленности антенн изменение одной из координат  $U, V$  происходит при фиксированных значениях другой координаты и приращения координат  $\Delta U$  и  $\Delta V$  взяты постоянными, не зависящими от величин  $U$  и  $V$ . Эта особенность формы раstra должна учитываться при обработке наблюдений, так как может привести, например, к заметным ошибкам при определении координат всплесков по гелиограммам.

В подавляющем большинстве случаев расположение центра источника всплеска относительно матрицы элементов изображения (рис. 5) бывает таким, что отклик от всплеска занимает несколько элементов изображения. Яркость каждого элемента изображения определяется его удаленностью от центра источника всплеска. При обработке записей для определения координат всплеска измеряются отношения интенсивностей элементов изображения и сопоставляются с матрицей элементов. Координаты элементов матрицы вычисляются заранее. Такая методика позволяет определить угловые координаты всплеска с погрешностью до  $\sim 5'$ .

## 6. Система управления

Управление работой фазовращателей быстрого сканирования, коммутаторов, схемы меток, аттенуаторов осуществляется блоком управления, в котором формируются соответствующие последовательности управляющих импульсов.

При подаче команды “Сброс” на схему управления фазовращателем ФВ4-3 (четырёхканальный коммутатор двоично-дискретных трехразрядных кабельных линий временной задержки, включаемых последовательно с выходами четырех секций антенны W) диаграмма направленности антенны W переводится в крайнее “восточное” положение (положение I, код 000). Для этого все переменные задержки в ФВ4-3 отключаются (задержки минимальные). При работе гелиографа положение диаграммы направленности антенны W может дискретно изменяться, перемещаясь в западном направлении (всего 8 положений). В крайнем “западном” положении (положение VIII, код 111) длины кабелей временных задержек максимальны.

В ФВ4-3 установлены четыре платы коммутаторов. Схемы их идентичны, отличаются только длины коммутируемых кабелей. Импульсы управления подаются одновременно на все четыре платы, параллельно на одноименные контакты. Для подключения требуемой задержки ( $1$ ,  $2l$  или  $4l$ ) необходимо на соответствующие контакты подать напряжение и запереть коммутирующие диоды, включенные параллельно кабелю задержки, и одновременно подать на сопряженные контакты нулевое напряжение, чтобы отпереть коммутирующие диоды, включенные последовательно с кабелем задержки. Для отключения задержки подача напряжения на требуемые входы управления осуществляется в обратном порядке. При этом отпираются диоды, включенные параллельно кабелям задержки, и запираются диоды, включенные последовательно с кабелями задержки.

При максимальной частоте повторений кадров (до 4 кадров в секунду) и количестве элементов изображения (48 элементов в одном кадре) частота тактовых импульсов, управляющих работой коммутаторов, равна 200 Гц. Сравнительно высокая частота коммутации обусловила выбор в качестве коммутирующих элементов полупроводниковых диодов, обладающих высоким быстродействием и большим сроком службы.

Для устранения отражений от ненагруженных входов отключаемых каналов все они нагружаются на резисторы 75 Ом. Ослабление в открытом канале коммутатора составляет  $\sim 1$  дБ и определяется в основном потерями в соприкосновении диодов.

После недавно проведенной модернизации блока управления были добавлены новые режимы задающего генератора тактовых импульсов: 0.2, 0.4 и 200 Гц. Благодаря наличию нескольких режимов работы стало возможным выбрать разное время формирования кадра гелиографа. Раньше генератор с частотой 100/200 Гц был синхронизирован частотой сети, так как механическая система строчечной развертки регистрирующего устройства, фототелеграфного аппарата, имела привод от синхронного электродвигателя. В связи с внедрением нового приемно-регистрирующего устройства (DSP) необходимость в таком генераторе отпала. Новый вариант генератора использует в своей схеме кварцевый резонатор, что позволило заметно улучшить устойчивость его работы в целом. Кроме того, отпала надобность в использовании сумма-разностного устройства, которое раньше давало возможность формировать карандашный луч диаграммы направленности гелиографа из сигналов антенн N-S и W. Теперь эту функцию выполняет DSP, но об этом будет более подробно рассказано в третьей части этой работы, посвященной описанию гелиографа радиотелескопа УТР-2.

Импульсы управления коммутатором лучей и коммутатором антенны W формируются с помощью делителя частоты 1:6 и дешифратора. Импульсы управления фазовращателями быстрого сканирования формируются с помощью делителя частоты 1:8.

В блоке управления размещается схема индикации, на которую поступают сигналы от схем контроля, расположенных в фазовращателях и коммутаторах. Система контроля и индикации позволяет оперативно определять работоспособность этих устройств, быстро обнаруживать и устранять возникшие неполадки.

## 7. Выводы

Частота повторения изображения за счет перемещения пятерки лучей радиотелескопа УТР-2 в пределах зоны обзора гелиографа должна быть значительно больше, чем скорость сопровожде-

ния Солнца. Система фазирования УТР-2 не может обеспечить изменение положения луча с такой скоростью, так как в качестве коммутируемых элементов в ней применяются электромагнитные реле. Поэтому система фазирования УТР-2 используется только для слежения за положением Солнца. Для быстрого сканирования сектора обзора в систему фазирования УТР-2 включены дополнительные фазовращатели, обладающие достаточно высоким быстродействием и большим сроком службы. Поскольку сканирование производится в пределах малого угла, оптимальным вариантом является установка дополнительных фазовращателей между выходами секции и соответствующими входами системы фазирования секций антенны W. В этом случае при быстром сканировании положение диаграммы направленности секции остается неизменным, а луч радиотелескопа с помощью дополнительных фазовращателей перемещается в ее пределах. Это приводит к уменьшению интенсивности принятого сигнала от источника, находящегося вблизи края зоны обзора, из-за ослабления его на скатах диаграммы направленности секции. При обработке записей это обстоятельство следует учитывать и вводить соответствующие поправки при обработке результатов наблюдений.

Авторы благодарны В. В. Доровскому за помощь при выполнении настоящей работы.

### Литература

1. Nakajima H., Nishio M., Enome S., Shibasaki K., Takano T., Hanaoka Y., Torii C., Sekiguchi H., Bushimata T., and Kawashima S. New Nobeyama radioheliograph // *J. Astrophys. Astron.* – 1995. – Vol. 16, No. Suppl. – P. 437-442.
2. Богод В. М., Гельфрейх Г. Б., Гребинский А. С., Опейкина Л. В. Корреляционный радиогелиограф на базе РАТАН-6000 // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1995. – Т. 39, №5. – С. 527-537.
3. Grechnev V. V., Lesovoi S. V., Smolkov G. Ya., Krissinel B. B., Zandanov V. G., Altyntsev A. T., Kardapolova N. N., Sergeev R. Y., Uralov A. M., Maksimov V. P., and Lubyshev B. I. The Siberian solar radio telescope: the current state of the instrument, observations, and data // *Sol. Phys.* – 2003. – Vol. 216, No. 1. – P. 239-272.
4. Padin S., Scott S. L., Woody D. P., Scoville N. Z., Selig T. V., Finch R. P., Giovanine C. J., and Lawrence R. P. The Owens Valley Millimeter Array // *Publ. Astron. Soc. Pac.* – 1991. – Vol. 103, No. 663. – P. 461-467.
5. Yan Y., Zhang J., Chen Z., Ji G., Wang W., and Liu F. Progress on Chinese solar radioheliograph in cm-dm wavebands // *Astron. Res. Tech. Publ. Nat. Astron. Observ. China.* – 2006. – Vol. 3, No. 2. – P. 91-98.
6. The Radioheliograph Group. The Nançay multifrequency radioheliograph: New developments and data acquisition for the solar physics community // *Adv. Space Res.* – 1993. – Vol. 13, No. 9. – P. 411-414.
7. Ramesh R., Subramanian K. R., Sundrajan M. S., and Sastry Ch. V. The Gauribidanur radioheliograph // *Sol. Phys.* – 1998. – Vol. 181, No. 2. – P. 439-453.
8. Sheridan K. V., Labrum N. R., Payten W. J., Nelson G. J., and Hill E. R. Preliminary observations of solar radio sources with the Culgoora radioheliograph operating at four frequencies // *Sol. Phys.* – 1983. – Vol. 83, No. 1. – P. 167-177.
9. Erickson W. C., Mahoney M. J., Erb K. The Clark Lake Teepee-Tee telescope // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 1982. – Vol. 50. – P. 403-419.
10. Lecacheux A. The Nançay Decameter Array: A useful step towards giant new generation radio telescopes for long wavelength radio astronomy: in *Radio Astronomy at Long Wavelengths / Geophysical Monograph 119.* Copyright by the American Geophysical Union. – 2000. – P. 321-328.
11. White S. M., Kassim N. E., and Erickson W. C. Solar radioastronomy with the LOFAR (LOW Frequency ARray) radio telescope // *Proc. SPIE.* – 2002. – Vol. 4853. – P. 111-120.
12. Reich W. LOFAR in Germany // *Adv. Radio Sci.* – 2007. – Vol. 5. – P. 407-412.
13. Kassim N. E. and Polisensky E. J. The Legacy of Clark Lake and the Road to the Long Wavelength Array // *ASP Conf. Ser.* – 2005. – Vol. 345. – P. 114-124.
14. Брук Ю. М., Инютин Г. А. Двоично-дискретные линии задержки (фазовращатели) для широкополосных электрически управляемых антенн // *Антенны.* – М.: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 107-121.

### Геліограф радіотелескопа УТР-2. II. Конструктивні особливості

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

Ця стаття є другою частиною роботи, присвяченої детальному опису геліографа, створеного на базі радіотелескопа УТР-2. В ній описується конструкція найважливішого елемента геліографа – фазообертача швидкого сканування променів, а також наводиться розрахунок довжин його комутованих кабелів. Саме за допомогою цього фазообертача формується зображення у даному геліографі.



## **Heliograph of the UTR-2 Radio Telescope.**

### **II. Design Features**

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

The present paper is the second part of the work devoted to the detailed description of the heliograph based on the UTR-2 radio telescope. The most essential heliograph component is the phase shift module for quick sky scanning by antenna beams. Its construction is represented together with the length calculations of its switched cables. An image in the actual heliograph is formed just due to this module.