

СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ АН СССР

УТВЕРЖДАЮ

Зам.директора САО АН СССР

член-корр. АН СССР

Ю.Н.Парийский

" " 1983 г.

О Т Ч Е Т

РЕЗУЛЬТАТЫ СОВМЕСТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА НА РАДИОТЕЛЕСКОПАХ
РАТАН-600 (КАНЫ СЕКТОР С ПЕРИСКОПОМ В 5 АЗИМУТАХ) И VLA (США)
В ИЮЛЕ 1982.

Научные руководители:

Доктор физ.-мат.наук Г.Б.Гельфрейх

Доктор физ.-мат.наук Д.В.Корольков

Исполнители от САО:

Богод В.М.

Минченко Б.М.

Петров З.Е.

от ЛФ САО:

Зверев Ю.К.

Коржавин А.Н.

от ЛПИ:

Дикий В.И.

от ГАО:

Ахмедов Ш.Б.

Боровик В.Н.

Гельфрейх Г.Б.

Ленинград

1983

В июле 1982 г. проводилась широкая программа совместных советско-американских наблюдений Солнца. Научные задачи этой программы были основаны на использовании двух крупных радиотелескопов: РАТАН-600 и VLA. Дополнительно в программе участвовало ряд обсерваторий в Советском Союзе и за рубежом, которые проводили наблюдения в радио и оптическом диапазонах.

Для проведения таких наблюдений на РАТАН-600 была проведена большая подготовительная работа, которая значительно увеличила возможности инструмента. При этом было сделано следующее:

- проведены первые пробные наблюдения в азимутах в системе Южного сектора с перископом;
- значительно расширен солнечный аппаратурный комплекс за счет введения радиометров на 3 волны дециметрового диапазона, работающих с единым фазовым центром;
- введена новая система автоматической регистрации на базе комплекса ИКАР-16, выполненной в системе КАМАК;
- завершено матобеспечение обработки многоволновых наблюдений;
- сделана пробная карта участка Солнца с использованием азимутального синтеза с максимальными азимутами $\pm 8^\circ$ от меридиана;
- получены новые астрофизические результаты.

Цель настоящего отчета — изложение опыта работы, полученного в этих наблюдениях.

Отчет составили:

Глава 1 — А.Н.Коржавин. Глава 2 — Ю.К.Зверев. Глава 3 — В.М.Богод, В.Н.Дикий. Глава 4 — З.Е.Петров. Глава 5 — А.Н.Коржавин, С. .Ан-дрианов, Г.Б.Гельфрейх. Глава 6 — Б.С.Минченко. Глава 7 — Ш.Б.Ахмедов, В.Н.Боровик, А.Н.Коржавин, Г.Б.Гельфрейх.

Введение и Заключение написаны В.М.Богодом и Г.Б.Гельфрейхом.

Общую редакцию отчета вел В.М.Богод.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
I. Особенности наблюдений в азимутах на Южном секторе с перископом на радиотелескопе РАТАН-600	
I.1 Вводные замечания	12
I.2 Вывод формул, связывающих A_p, h_f и A_a, h_a . .	13
I.3 Связь параметров (A_p, h_f) с координатами источника	15
I.4 Учет влияния рефракции	17
II. Геодезическое обеспечение	
2.1 Вводные замечания	21
2.2 Определение положения облучателя	21
2.3 Определение МО шкал отсчетно-установочных устройств южного сектора	25
2.4 Калибровка плоского отражателя	28
III. Аппаратурное обеспечение наблюдений	
3.1 Вводные замечания	32
3.2 Принцип работы, основные расчетные и измеренные характеристики полоскового облучателя с единым фазовым центром	32
3.3. Экспериментальные исследования характеристик облучателя на РЕВ	35
3.4 Радиометрический комплекс дециметрового диапазона для исследования Солнца	37
IV. Обеспечение сбора информации на основе системы автоматической регистрации на стандарте КАМАК-ИКАР-16	41
4.1 Требования к автоматизированному солнечному СПК	42
4.2 Согласование радиометров солнечного комплекса со стойкой регистрации на стандарте КАМАК	44

4.3	Конфигурации комплекса ИКАР-16	46
4.4	Структура математического обеспечения	48
4.5	Работа комплекса в режиме "наблюдение"	50
У.	Комплекс программ обработки солнечных наблюдений на РАТАН-600	
5.1	Краткое описание комплекса программ обработки солнечных наблюдений	58
VI.	Построение двумерных радионизображений Солнца из наблюдений в азимутах в режиме "Кг+перископ"	
6.1	Вводные замечания	60
6.2	Некоторые особенности методики наблюдений на РАТАН-600 (система Кг+перископ) в режиме азимутального синтеза	62
6.3	Общее описание алгоритма построения изображения . . .	63
6.4	Аппробирование алгоритма	72
VII.	Структура активной области Солнца по наблюдениям на и РАТАН-600 в июле 1982 г.	
7.1	Вводные замечания	75
7.2	Наблюдения Солнца на РАТАН-600	76
7.3.	Структура локального источника в сантиметровом диапазоне волн	80
7.4	Тонкая структура локального источника в дециметровом диапазоне волн	83
7.5	Излучение активной области в дециметровом диапазоне волн по данным РАТАН-600	88
7.6	Обсуждение результатов	91
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103

В В Е Д Е Н И Е

Современные радиоастрономические исследования ориентируются преимущественно на крупные антенные системы. Это полностью относится и к солнечным наблюдениям, которые налагают ряд дополнительных, специфических для Солнца, требований. К ним относятся, в частности, следующие:

- необходимость одновременных радио, оптических и других наблюдений Солнца ввиду переменности его излучения;
- принципиально важны многоволновые наблюдения (из-за сложной структуры спектра) и поляризационные измерения (вследствие доминирующей роли магнитных полей в физике солнечной атмосферы).

При использовании крупных радиотелескопов для исследований Солнца важно учитывать то, что каждый из них обладает определенными особенностями, определяющими специфический круг задач для каждого инструмента. Так, антенные системы апертурного синтеза (*VLA* - США, *WSRT* - Голландия), позволяя создавать двумерные изображения с разрешением до секунд дуги, в то же время не позволяют параллельно изучать более крупные структурные детали, строят изображения на малом числе избранных частот (обычно только одной) и имеют невысокую точность поляризационных измерений. Часто (например *WSRT*) изображение строится из многочасовых наблюдений и требует временной стабильности в распределении яркости по объекту.

С другой стороны, антенные системы типа *PATAN-600* лишены большинства этих недостатков, но имеют меньшее разрешение (десятки секунд дуги). Позволяя проводить подробные спектральные и поляризационные наблюдения в широком диапазоне волн (2-30 см, использовавшийся в программе), *PATAN-600* имеет пока ограничения в

исследовании временных вариаций радиоизлучения активных областей, особенно на масштабах несколько минут времени.

В то же время наблюдения с временным разрешением могут быть обеспечены на полноповоротных антеннах (типа - 100 м Бонинское зеркало, РТ-22, ТНА-1500 и др.) с меньшим пространственным разрешением.

Объединение усилий нескольких наиболее крупных радиотелескопов для синхронных исследований физических параметров избранных областей Солнца представляется, таким образом, наиболее эффективным подходом к задачам солнечной радиоастрономии. Он требует по своей сути (поскольку в СССР отсутствуют системы апертурного синтеза) организации международной программы наблюдений Солнца. Естественно, что в такой программе, кроме радиоастрономических, должны участвовать и оптические обсерватории.

Такого рода сотрудничество с участием RATAN-600 удалось впервые провести по программе Года Солнечного Максимум (1978-1981). Выполненные в этот период наблюдения активных областей Солнца на VLA, WSRT и на RATAN-600 хорошо продемонстрировали достоинства и ограничения каждого из этих инструментов в решении солнечных задач и позволили сравнить результаты исследований, а также выявить и некоторые противоречия в наших представлениях о структуре локальных источников (Л.И.) радиоизлучения Солнца. Стало ясно, что эти различия во взглядах на природу Л.И. во многом связаны с различием диапазонов волн, в которых велись исследования (самая короткая волна на WSRT - 6 см, а на VLA не заполнен диапазон между 2 и 6 см, тогда как наиболее существенная часть исследования Солнца на RATAN-600 проводилась на пяти волнах в диапазоне 2-4 см). Наибольшую пользу для выяснения всех этих проблем оказало Междуна-

реднее Рабочее Совещание в Криму в марте 1981 года. Именно материалы наблюдений, представленные на этом совещании, позволили сравнить наблюдения, выполненные на RATAN-600 с данными, полученными на VLA и WSRT. При этом возникли и предложения по дальнейшему сотрудничеству в исследовании активных областей Солнца на основе параллельных наблюдений с помощью RATAN-600 и больших антенных решеток. Планы таких совместных исследований обсуждались с M.R. Kundu и K.R. Lang - основными наблюдателями Солнца на VLA и WSRT.

В дальнейшем, K.R. Lang обратился в программный комитет RATAN-600 с предложением по проведению кооперативной программы в мае 1981 года, которая была одобрена и принята для использования на RATAN-600.

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ

Проект, предложенный Лангом, включал в качестве основных задач исследований — солнечные пятна, корональные арки и солнечные вспышки. В первоначальной формулировке он предлагал использовать RATAN-600 на пяти волнах в диапазоне 2-4 см, картографирование Солнца на WSRT в Вестерборге на волне 6 см, картографирование на VLA на волне 20 см.

Карты WSRT (особенно поляризационные) должны были дать структуру магнитного поля короны над тенью и полутенью пятен и возможное излучение низких корональных петель.

Данные VLA на волне 20 см должны были дать структуру более выходящих корональных петель, а данные RATAN-600 — проследить магнитные поля переходной области между хромосферой и короной.

Предметом исследования должны были также явиться всплески,

происходящие в той же выбранной для исследования активной области.

В дальнейшем выяснилась невозможность использования радиотелескопа в Вестерборге на волне 6 см в выбранный период времени, в связи с чем картографирование Солнца на *WSRT* в июле 1982 г. не проводилось. Однако добавлялись наблюдения Слоттье (Голландия) на зеркале $\varnothing$ 20 см на многоканальном спектрографе сантиметрового диапазона.

Кроме радионаблюдений Ланг предполагал использовать оптические, в частности, картографические данные, получаемые на обсерваториях США, Канады, Франции.

Основные задачи совместной программы формулируются следующим образом:

1. Построение и анализ трехмерной физической структуры избранных активных областей, включая корональные арки, на основе радиоастрономических и оптических наблюдений.

2. Выяснение методических особенностей и сравнение наблюдательных возможностей крупнейших радиотелескопов мира *VLA* и *RATAN-600* применительно к задачам физике Солнца.

Со своей стороны, в целях подготовки к программе, на *RATAN-600* были проведены дополнительные мероприятия, позволившие значительно увеличить возможности радиотелескопа и расширить круг научных задач. Среди этих мероприятий следует отметить следующие:

а) Проведена апробация и осуществлены наблюдения в пяти азимутах в режиме ИТ+перископ с использованием дуговых путей на облучателе № 3 и автоматизированной перестановки плоского зеркала.

б) Значительно расширен солнечный спектральный комплекс радиоприемной аппаратуры в связи с введением трех радиометров на вол-

и 12 см, 20 см, 30 см, работающих с полосковым облучателем с единым фазовым центром и регистрирующих интенсивность и круговую поляризацию принимаемого излучения.

в) Введен в действие новый комплекс автоматической регистрации на облучателе № 3-ИКАР-16, выполненный в системе КАМАК.

г) Математическое обеспечение обработки солнечных наблюдений в варианте, необходимом для системы ИКАР-16, доведено до уровня практического использования с выводом результатов обработки на графопостроителе.

Все эти мероприятия позволили провести более корректные сопоставления результатов наблюдений с данными VLA (с использованием данных на дециметровых волнах), а также получить новые данные об активных областях, включая их изменения в течение наблюдений.

Последнее имеет особое значение в связи с проведением в июле месяце кооперативных программ в СССР и за рубежом, связанных с изучением хромосферных вспышек и предшествующих им явлений.

По результатам наблюдений предполагается организации кооперативных исследований отдельных рабочих групп по разным задачам.

ОРГАНИЗАЦИЯ КООПЕРАТИВНОЙ ПРОГРАММЫ

Расширение совместной советско-американской программы, проведенной как с американской стороны, так и с советской стороны, привело к организации широкой кооперативной программы.

К.Лангом было организовано участие ряда обсерваторий США, Канады и Франции для проведения магнитографических наблюдений, наблюдений в линиях водорода и ионизированного кальция, в белом свете.

С советской стороны организацию кооперативной программы секция Радиоклучения Солнца поручила Г.Б.Гельфрейху.

В этой программе участвовали:

I. Радиоастрономические наблюдения:

а) ТНА - I500 (ИИГ и НИИФ ЛГУ) - картографирование Солнца с разрешением $\sim 2'$ на 3,8 см, а также наблюдения на волне 7,6 см с измерением на каждой волне интенсивности и круговой поляризации.

б) 32-элементная антенная решетка в Бадарах (СибИЗМИР) на волне 5,2 см с разрешением $1' - 2'$ и регистрацией круговой поляризации и интенсивности излучения.

в) БПР - проводились наблюдения на волнах 2,3 см, 4,5 см, 3,2 см в интенсивности и круговой поляризации.

г) РТ-22 (ФУАН) наблюдения проводились на волне 1,35 см в интенсивности.

д) ИЗМИРАН проводил наблюдения метровых всплесков.

II. Оптические наблюдения

а) ГАС ГАО (Кисловодск) - наблюдения в белом свете и в линии H_{α} .

б) ГАИШ (Алма-Ата и Москва) - наблюдения на внезатменном коронографе.

в) КраО (Крым) - измерение магнитных полей в восьми линиях.

г) ИЗМИРАН (Москва) - измерение магнитных полей и наблюдения в линии H_{α} .

д) СибИЗМИР (Лысьвники, Монды) - наблюдения в линии H_{α} лучевых скоростей и на панорамном магнитографе.

е) ГАО (Ленинград) - наблюдения на телевизионном магнитографе.

ж) КГУ (Киев) - наблюдения в линии $K Ca II$.

Кроме того, параллельно проводились программы по линии КАПГ в социалистических странах (Институт Генриха Герца в ГДР, обсер-

Организации проводившие радиоастрономические
наблюдения Солнца по советско-американской программе.

Организация	Место наблюдения	Инструмент	Диапазон (см)	Параметры измерения	Разреше- ние
САО	Зеленчукская	РАТАН-600	2,0 4,2 2,5 12,0 2,7 20,0 3,2 30,0 4,0	I, V на каждой волне	15" x 15" для волны 2,0 см
ИПГ и НИИФ ЛГУ	Медвежье озера	ГМА-1500	3,8 см 7,6 см	I, V	2' -
СибизМИР	Бадары	32 элементная антенная решетка	5,2 см	I, V	1'-2'
ИРЗукран НИИФЛ	Харьков	УТР-2	ДКМ	-	-
ЛФ САО	Ленинград	БНР	2,3 3,2 4,5	I, V	~1'-гори- зонт для волны 3,2 см
ИЗМИРАН	Москва	Троицкое	метровый диапазон	всплески I	временное
ФИАН	Москва	РТ-22	1,35 см	I	~2'

Организации проводившие оптические
наблюдения Солнца по советско-американской программе.

Организации	Место наблюдения	Инструмент и диапазон
ГАС-ГАО	Кисловодск	Белый свет H_{α}
ГАИШ	Алма-Ата Москва	Наблюдения на внезатменном коронोगрафе H_{α}
КрАО	Крым	Магнитные поля в 8 линиях
ИЗМИРАН	Москва	Магнитные поля линия H_{α}
СибИЗМИР	Листвянки Монды	Линия H_{α} Лучевые скорости Панорамный магнитограф
ГАО	Ленинград	Телевизионный магнитограф
КГУ	Киев	Пластины в линии KCa II

ватория в Сиджехов ВНР, и др).

Отчет состоит из введения, семи глав и заключения.

Во введении рассмотрены научные задачи, стоявшие в совместной советско-американской программе по исследованию Солнца в июле 1962 г. и вопросы касающиеся организации этой программы.

Первая глава посвящена рассмотрению геометрии антенной системы Лунного сектора с перископом при наблюдениях в азимутах.

Вторая глава описывает методы геодезической юстировки для обеспечения азимутальных наблюдений.

В третьей главе описываются радиометры солнечного комплекса, на которых производились наблюдения. Основное внимание уделено радиометрам дециметрового диапазона и подключенному к ним полосковому многоволновому облучателю с единым фазовым центром.

Четвертая глава описывает новую автоматизированную систему сбора информации ИКАР-16 на облучателе № 3, основанную на стандарте КАМАК и ЭВМ "Электроника-100И".

Ко времени проведения программы была также завершена большая работа по созданию математического обеспечения по обработке результатов наблюдений Солнца на ЕС ЭВМ (ЕС-1035).

Краткое описание комплекса программ дано в главе 5.

В шестой главе приведено описание построения двумерных радиоизображений Солнца из наблюдений в азимутах в режиме Кт + перископ и представлена пробная двумерная карта участка Солнца.

В последней седьмой главе даны некоторые результаты наблюдений по совместной советско-американской программе.

В Заключении описаны основные значимые астрофизические результаты и проблемы, вытекающие из проведенного эксперимента.

1. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ В АЗИМУТАХ НА КАНОН СЕКТОРЕ С ПЕРИСКОПОМ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

1. 1. Вводные замечания. При описании работы радиотелескопа РАТАН-600 в азимутальной системе координат (ее центр совпадает с центром радиотелескопа) будем различать следующие величины:
 A_p, h_p - инструментальные азимут и высота, где A_p есть азимут вершины эллипса (параболы), вдоль которого устанавливаются элементы кругового отражателя радиотелескопа, h_p - основной аргумент, входящий в теорию АПШ и определяющий как форму поверхности, которую должны образовать отдельные элементы кругового отражателя АПШ, так и положение фокуса (облучателя) этого зеркала при наблюдениях источников на соответствующей высоте [1,1; 1,2]. По аргументам A_p, h_p рассчитываются таблицы установки отражающих элементов (щитов) радиотелескопа РАТАН-600.

A_a, h_a - азимут и высота центра диаграммы направленности АПШ.

$A_{и}, h_{и}$ - азимут и высота источника.

При наблюдениях на избранном секторе кругового отражателя радиотелескопа РАТАН-600 обычно $A_a = A_p \pm 180^\circ$, $h_a = h_p$, последнее справедливо в приближении геометрической оптики (основа теории АПШ [1,1]), однако, практически, имеется небольшое различие между h_a и h_p , связанное, с одной стороны, с систематическими ошибками определения нулей угломестных шкал щитов АПШ, с другой стороны, с явлением дифракции радиоволн в пространстве между вторичным и первичным зеркалами АПШ [1.3 ; 1.4].

В случае наблюдения "зенитных" источников $A_a = A_p$ и $h_a = 180^\circ - h_p$.

Установку кругового отражателя (A_p, h_p) обычно делают такой, чтобы в момент прохождения источника через диаграмму АПШ было

$A_a = A_n$, $h_a = h_n$. При наблюдениях протяженных источников (например, Солнца) и в ряде других случаев часто бывает необходимым несколько изменить ориентацию диаграммы направленности, и в этом случае $A_a \neq A_n$, $h_a \neq h_n$. При наблюдениях на Южном секторе с перископом круговой отражатель выставляется по параболе с азимутом вершины A_p , и таблицы установок щитов вычисляются для $h_p = 0^\circ$. Изменение ориентации диаграммы направленности антенны при этом достигается изменением угла наклона плоского отражателя h_f . В качестве h_f будем принимать удвоенное значение угла между нормалью к поверхности плоского зеркала и плоскостью горизонта.

Итак, в случае Южного сектора с перископом в качестве инструментальных параметров выступают A_p и h_f , причем их связь с A_a и h_a существенно иная, чем описано выше.

1.2. Вывод формул, связывающих A_p , h_f и A_a , h_a .

Для вывода формул воспользуемся известным соотношением между ортами падающей $\vec{\tau}$ и отраженной $\vec{\rho}$ волны и ортом нормали $\vec{n}$ к поверхности зеркала:

$$\vec{\rho} = \vec{\tau} - 2\vec{n}(\vec{n}\vec{\tau}) \quad (1.1)$$

Декартовы составляющие ортов $\vec{\rho}$, $\vec{\tau}$, $\vec{n}$, выражаются следующим образом (рис.1.1):

$$\begin{cases} n_x = \cos(h_f/2) \\ n_y = 0 \\ n_z = \sin(h_f/2) \end{cases} \begin{cases} \tau_x = -\cos A_p \\ \tau_y = \sin A_p \\ \tau_z = 0 \end{cases} \begin{cases} \rho_x = \cos h_a \cos A_a \\ \rho_y = -\cos h_a \sin A_a \\ \rho_z = \sin h_a \end{cases} \quad (1.2)$$

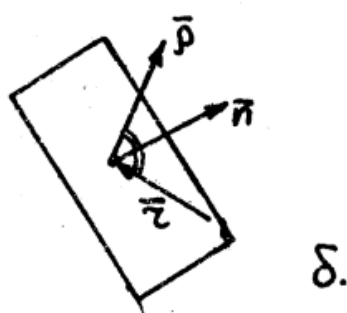
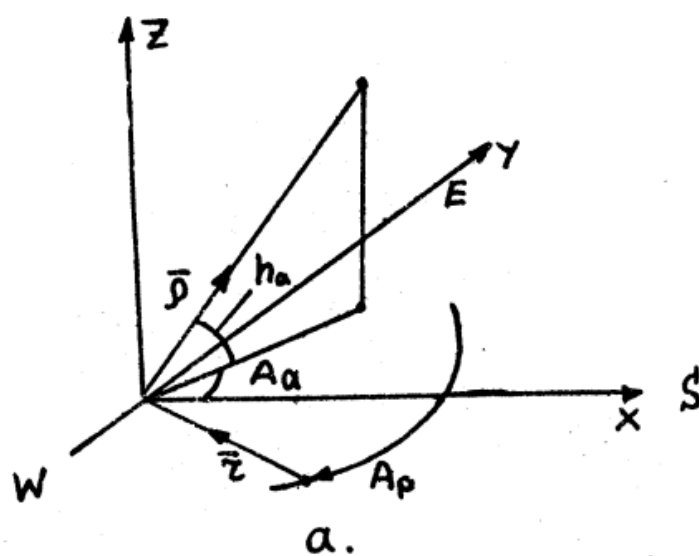


Рис. 1.1.

Подставляя (I.2) в (I.1) имеем:

$$\begin{cases} \rho_x = \cos h_a \cos A_a = \cos A_p \cos h_f \\ \rho_y = -\cos h_a \sin A_a = \sin A_p \\ \rho_z = \sin h_a = \sin h_f \cos A_p \end{cases} \quad (I.3)$$

Отсюда:

$$\begin{cases} \tan A_a = -\tan A_p / \cos h_f \\ \sin h_a = \sin h_f \cos A_p \end{cases} \quad (I.4)$$

Из (I.4) видно, что только при $A_p = 0^\circ$ имеют место равенства $A_a = A_p$ и $h_a = h_f$. При $h_f = 0^\circ$ имеем также $h_a = h_f$ и $A_a = -A_p$.

На рис. I.2 в системе координат A_a, h_a показаны сплошными линиями траектории центра луча диаграммы радиотелескопа для нескольких фиксированных значений $A_p (0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ)$ и при изменении h_f от 0° до 90° . Точками на этих линиях отмечены значения h_f через каждые 10° . Как видно из (I.3) ρ_y не зависит от h_f , это означает, что ^{на}небесной сфере эти траектории представляют собой малые круги, параллельные плоскости меридиана радиотелескопа (круг NZS на рис. I.3). Следует отметить, что ножевая диаграмма радиотелескопа ориентируется не вдоль этих кругов, а вдоль больших кругов, являющихся касательными к ним.

Действительно, раскрыв радиотелескопа определяется плоским зеркалом (перископом), ориентированным в направлении $E-W$, а максимум диаграммы имеет координаты, даваемые формулами (I.4). Все это определяет на небесной сфере большой круг EOW (рис. I.3), наклоненный к плоскости горизонта под углом h_f . Согласно (I.4) этот круг является траекторией центра диаграммы, если при фиксированном h_f изменять A_p от -90° до $+90^\circ$. Таким образом узкое сечение ножевой диаграммы направленности радиотелескопа ориентировано вдоль упомянутого большого круга, а широкое се-

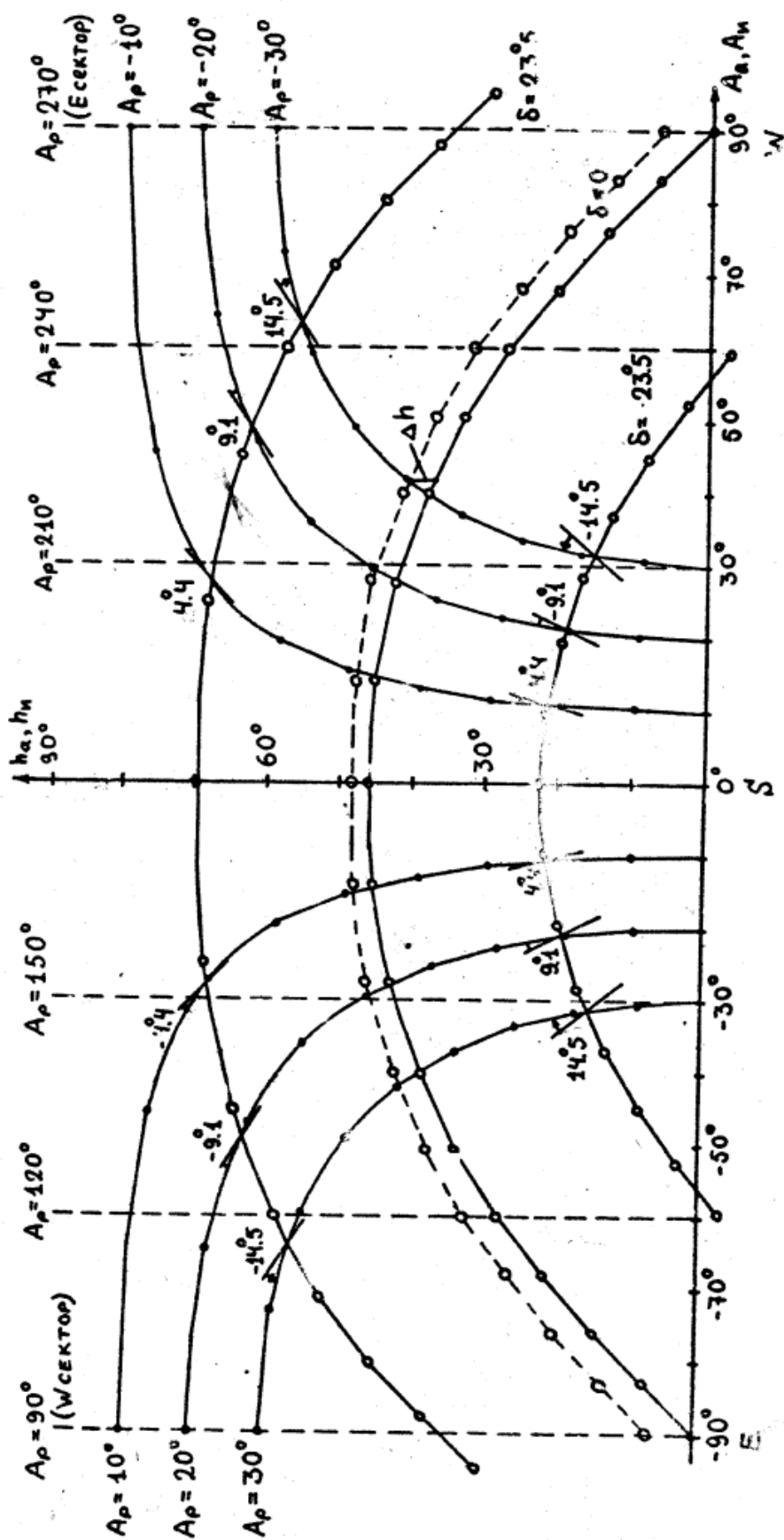


Рис. 1.2.

чение - перпендикулярно ему, т.е. вдоль большого круга OP_f (рис. 1.3), где P_f - полюс круга EOW .

Для сравнения на рис. 1.2 пунктирными вертикальными линиями показаны траектории диаграммы для случая кругового отражателя для значений $A_p = 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 210^\circ, 240^\circ$ и 270° и при изменении h_p от 0° до 90° .

2.3. Связь параметров (A_p, h_p) с координатами источника.

Для вывода необходимых формул воспользуемся известными соотношениями между азимутальными и экваториальными координатами светила. В первом приближении не будем учитывать рефракции.

Таким образом:

h'_n - истинная высота светила; $h'_n = h_n - \Delta h$; $\Delta h = f(h'_n)$;

δ' - истинное склонение источника;

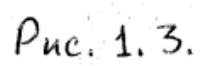
t' - его истинный часовой угол;

S - местное звездное время;

α' - истинное прямое восхождение источника.

$$\begin{cases} \cos h'_n \sin A_n = \cos \delta' \sin t' \\ \cos h'_n \cos A_n = -\sin \delta' \cos \varphi + \cos \delta' \cos t' \sin \varphi \\ \sin h'_n = \sin \delta' \sin \varphi + \cos \delta' \cos t' \cos \varphi \\ \cos \delta' \cos t' = \sin h'_n \cos \varphi + \cos h'_n \cos A_n \sin \varphi \\ \sin \delta' = \sin h'_n \sin \varphi - \cos h'_n \cos A_n \cos \varphi \\ t' = S - \alpha' \end{cases} \quad (1.5)$$

Траектории источника (его суточные параллели) в системе координат (h'_n, A_n) для нескольких фиксированных значений δ'



$(0^\circ, \pm 23^\circ, 5)$ и при изменении t' от -90° до $+90^\circ$ показаны на рис. I.2 сплошными линиями. Кружочками на этих линиях показаны положения светила для значений t' через каждые 10° .

В момент прохождения источника через центр диаграммы радиотелескопа $h'_u = h_a$, $A_u = A_a$. Это соответствует точке пересечения на рис. I.2 траекторий диаграммы и источника. Комбинируя для этого момента формулы (I.3) и (I.5), имеем:

$$\begin{cases} \cos(h_f + \varphi) = -\sin \delta' / \cos A_p \\ \sin t' = -\sin A_p / \cos \delta' \end{cases} \quad (1.6)$$

Формул (I.6) достаточно для того, чтобы определить высоту h_f установки плоского отражателя при заданных A_p и δ' и момент $S = t' + \alpha'$ прохождения источника через диаграмму радиотелескопа.

Для этого же момента из (I.3) и (I.5) имеем так же:

$$\begin{cases} \tan A_{a,u} = -\tan A_p / \cos h_f \\ \sin h_{a,u} = \sin h_f \cos A_p \end{cases} \quad (1.7)$$

Угол z между суточной параллелью и узким сечением диаграммы направленности можно определить из треугольника $P_f O P$:

$$\sin z = -\tan \delta' \tan A_p \quad (1.8)$$

При наблюдениях, например, Солнца в режиме Южный сектор с перископом РТАН-600, в разных азимутах A_p можно выделить следующие случаи:

а) Склонение светила $\delta = 0^\circ$ (весеннее и осеннее равноденствие). Из (1.6) следует, что в этом случае $h_f = 90^\circ - \varphi$

и не изменяется при изменении $A_p, t' = -A_p$ и из (1.8) $\tau = 0^\circ$. Таким образом, в эти дни ориентации диаграммы относительно источника не изменяется, не нужны также перестановки плоского зеркала при переходе от одного азимута к другому. Все это благоприятствует проведению наблюдений быстропеременных процессов на Солнце.

б) Склонение светила близко к максимальному (летнее и зимнее солнцестояния). Из (1.8) видно, что для этих периодов имеет место максимальное изменение позиционного угла τ диаграммы относительно источника. При изменении азимута от $A_p = 30^\circ$ до $A_p = -30^\circ$ угол τ изменяется (рис. 1.2) от $-14,5^\circ$ до $+14,5^\circ$ летом и от $+14,5^\circ$ до $-14,5^\circ$ зимой. При наличии на Солнце стабильных образований это позволяет строить их двумерные карты с синтезированной диаграммой, размеры широкого и узкого сечения которой относятся примерно как 2:1. На волне 2 см это соответствует диаграмме с размером $17'' \times 34''$.

2.4. Учет влияния рефракции.

Вследствие рефракции радиоволн в земной атмосфере видимый путь источника на небосводе искажается. Это показано для примера на рис. 1.2 пунктиром для случая $\delta = 0$. Для того, чтобы обеспечить прохождение источника через центр диаграммы, необходимо соответствующим образом изменить установку h_f плоского зеркала, при этом происходит изменение t , т.е. момента прохождения источника через диаграмму. При наблюдениях Солнца величина Δt может составлять 1-2 сек. времени, т.е. несколько ширин диаграммы на самой короткой волне ($\lambda = 2$ см).

Опишем возможный алгоритм корректного расчета установки плоского зеркала h_f и других величин для заданного азимута A_p с

учетом рефракции и изменения координат источника (α, δ) в период наблюдений:

1. Вычислить координаты источника (α', δ') и их часовые изменения ($\sigma_\alpha, \sigma_\delta$) на момент кульминации ($t=0$) по Астрономическому Ежегоднику или программам ИТА.

2. Определить в первом приближении величины h'_p , t' , h'_n по формулам:

$$\begin{cases} \cos(h'_p + \varphi) = -\sin \delta' / \cos A_p \\ \sin t' = -\sin A_p / \cos \delta' \\ \sin h'_n = \sin h'_p \cos A_p \end{cases} \quad (1.9)$$

3. По величине h'_n определить рефракцию Δh по таблицам рефракции или (менее точно) по формуле:

$$\Delta h = R \operatorname{ctg} h'_n, \quad R = 69''.14, \quad h'_n \geq 20^\circ \quad (1.10)$$

4. Скорректировать склонение δ' за рефракцию и изменение за время t' :

$$\delta = \delta' + \sigma_\delta t' + \Delta h \cos q \quad (1.11)$$

q - параллактический угол, определяемый по формуле:

$$\sin q = \cos \varphi \sin t' / \cos h'_n \quad (1.12)$$

5. Определить во втором приближении величины h_f , t , $h_{a,n}$, а также $A_{a,n}$, τ , S .

$$\begin{aligned}
 \cos(h_p + \varphi) &= -\sin \delta / \cos A_p \\
 \sin t &= -\sin A_p / \cos \delta \\
 \operatorname{tg} A_{a,n} &= -\operatorname{tg} A_p / \cos h_p \\
 \sin h_{a,n} &= \sin h_p \cos A_p \\
 \sin \tau &= -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} A_p \\
 S' &= t + \alpha' + \sigma_\alpha \cdot t
 \end{aligned}
 \tag{1.13}$$

6. Более высокие приближения получаются повторением шагов 1)-5), причем шаг 1) выполняется для значения S' , полученного на шаге 5) предыдущего приближения.

1.5. Замечание.

Основные формулы полученные здесь в пп.2 и 3, ранее были получены О.Н.Шиврисом. [1.5].

Л И Т Е Р А Т У Р А

- I.1. С.Э.Хайкин, Н.Д.Кайдановский, Н.А.Есепкина, О.Н.Шиврис.
Большой Пулковский радиотелескоп. Известия ГАО, 1960,
№ 164, с. 3-26.
- I.2. Радиотелескоп РАТАН-600. Известия ГАО, 1972, № 188, с.3-12.
- I.3. В.Н.Боровик и др. "Отчет об измерении вертикальной диаграм-
мы (Клиный сектор с перископом)".
- I.4. А.В.Темирова и др. "Отчет об измерении вертикальной диаграм-
мы".
- I.5. О.Н.Шиврис. Работа радиотелескопа РАТАН-600 с плоским отра-
жателем. - Астрофизические исследования (Изв.САО). 1980,
№ 12, с.134-140.