

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ИКАР-16 НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

В. М. Богод, Г. Б. Гельфрейх, З. Е. Петров

Проведена модернизация солнечного спектрально-поляризационного комплекса ССПК РАТАН-600 на основе системы КАМАК и мини-ЭВМ «Электроника-100И». Новый комплекс ИКАР-16 обеспечивает работу 8 радиометров с регистрацией по 16 каналам интенсивности и круговой поляризации. Автоматизированный режим переключения усиления обеспечивает регистрацию сигналов в диапазоне 50—80 дБ с записью их на магнитную ленту, визуальным контролем измеряемого сигнала на графическом дисплее «Альфа». Предусмотрены средства оперативной первичной обработки наблюдений и их графического представления с помощью графопостроителя Н710. Обсуждаются направления дальнейшего развития комплекса, приводятся примеры его работы.

The modernization of the solar spectral-polarizational complex SSPC RATAN-600 has been carried out on the basis of CAMAC-system and «Electronica-100 I» minicomputer. The new ICAR-16 complex allows the operation of 8 radiometers with 16 channels of intensity and circular polarization registration. The automatized switching amplification way gives the opportunity of 50—80 dB signals registration with their recording and the visual control at the «Alpha» graphical display. The means are provided for the operative primary observation data processing and their graphical presentation with the help of N710 autoplotted. The tendencies of the further development of the complex are discussed and the examples of its work are presented.

В период 1976—1981 гг. наблюдения Солнца на РАТАН-600 (облучатель № 3) проводились с помощью солнечного спектрально-поляризационного комплекса аппаратуры ССПК [1].

Этот комплекс состоял из пяти радиополяриметров, работающих в диапазоне 2—4 см с регистрацией интенсивности и круговой поляризации на каждой волне. Низкочастотная часть радиополяриметров была выполнена в виде блоков устройства автоматической регистрации УАР [2] с аналоговым выходом на самописцы типа КСП-4 и через 9-канальный коммутатор на 10-разрядный АЦП. Цифровая регистрация на магнитную ленту проводилась с помощью ЭВМ «Электроника-К200» [3], находящейся в лабораторном корпусе и имеющей линию связи с УАР ($l=500$ м). Управление процессом наблюдения и радиометрами (выбор и переключение усилений, запуск и остановка регистрации и т. д.) проводилось наблюдателями вручную.

В работах [4, 1] были рассмотрены основные астрофизические и технические задачи для исследования радиоизлучения Солнца на радиотелескопе РАТАН-600. При этом была поставлена задача перекрытия всего рабочего диапазона длин волн РАТАН-600 от 0.8 до 75 см с помощью достаточно подробной сетки радиополяриметров в количестве 14—15 шт. с коэффициентом перекрытия 1.15—1.5. Однако расширение ССПК с целью реализации этой задачи до последнего времени ограничивалось возможностями системы регистрации.

Действительно, с одной стороны, использование такой конструктивной особенности радиотелескопа, как возможность размещения большого числа волноводных рупоров в зоне допустимых aberrаций и совмещения в едином фазовом центре несколько облучателей дециметрового диапазона [5], позволило значительно расширить по диапазону входную часть спектрального комплекса. С другой стороны, значительно увеличился парк солнечных радиополяриметров, используемых на РАТАН-600, в связи с тем что задачи, выдвигаемые современной солнечной радиоастрономией, требуют проведения исследований,

сочетающих анализ излучения в различных диапазонах спектра, поляризации, высокого временного и пространственного разрешений. При этом в связи с ограниченным числом каналов регистрации спектральный диапазон при наблюдениях Солнца приходилось оптимизировать под конкретную астрофизическую задачу, а возможность одновременного анализа во всем диапазоне ССПК не использовалась.

Кроме того, опыт наблюдений Солнца показал, что ручное управление сильно ограничивает возможности использования комплекса, так как уровень солнечного сигнала (особенно по каналам поляризации) меняется плохо предсказуемым образом на четыре и более порядков (даже вне всплесков). Причем при одном и том же наблюдении необходимо регистрировать и активные области с сигналами до 50 000 К, и спокойное Солнце, на котором необходимо реализовывать чувствительность радиометров (десятичные доли градусов). Еще большие требования на динамический диапазон возникают при наблюдении всплесков радиоизлучения Солнца, где сигнал может возрасти еще на несколько порядков.

Опытные наблюдатели отчасти преодолевали эти трудности, прогнозируя уровень солнечной активности и выбирая для каждого наблюдения и канала режимы, оптимальные с точки зрения астрофизической задачи. Кроме того, в ходе наблюдений они делали ряд переключений аппаратуры, с тем чтобы добиться оптимальной записи. Естественно, что потери информации при этом оставались значительными и работа наблюдателя оказывалась чрезмерно трудоемкой и утомительной, а главное, увеличение числа каналов в таком режиме было уже практически невозможной задачей.

Другой важной обязанностью наблюдателя при работе с ССПК являлся оперативный просмотр результатов наблюдений для определения дальнейшей программы солнечных работ на РАТАН-600 (выбор объекта исследования) и для установления связей с другими обсерваториями для комплексного исследования объекта в разных диапазонах. Аналогичные требования на представление данных предъявляются также задачами прогноза солнечной активности. Использование для этой цели самописцев при большом числе каналов весьма неудобно и ограничивает возможность быстрого принятия решения.

И наконец, нестандартный формат записи на магнитную ленту ЭВМ «Электроника-К200» исключал возможность обработки информации с первичной магнитной ленты непосредственно на любой ЕС ЭВМ. Обработка возможна только после переписи с перекодировкой на другую магнитную ленту при помощи специальной программы и аппаратной модификации на ЭВМ М4030, находящейся в комплексе РАТАН-600.

Попытка преодолеть все эти трудности была сделана при разработке нового автоматизированного ССПК — ИКАР-16 (Интеллектуальный комплекс автоматической регистрации — 16-канальный), в котором работа по выбору оптимального режима регистрации сигнала перенесена с наблюдателя на комплекс аппаратуры (программу) (что и определяет его некоторый «интеллект»), а также созданы условия для оперативной оценки характера солнечной активности, качества проведенных наблюдений и оптимальности их планирования.

Конфигурация комплекса ИКАР-16. Аппаратурная конфигурация комплекса показана на рис. 1. В состав комплекса входят восемь радиополяриметров, работающих на фиксированных частотах и перекрывающих диапазон длин волн от 2 см до 30 см, система автоматической регистрации, выполненная в международном стандарте КАМАК [6] и мини-ЭВМ «Электроника-100И» [7].

Радиополяриметры ССПК были модернизированы. В них введены генераторы шума на ЛПД для обеспечения автоматических калибровок и режима компенсации уровня спокойного Солнца, а также управляемые аттенюаторы на рпн-диодах для увеличения динамического диапазона приемников по входному сигналу до 65 дБ относительно уровня шумовой дорожки (0.5—1 К). Дополнительно в приемную систему включены три новых радиополяриметра дециметрового диапазона на длины волн 12, 20 и 30 см.

На рис. 2 приведены два типа радиополяриметров ССПК. Штриховой линией показаны цепи управления от системы автоматической регистрации, которые могут быть использованы в процессе наблюдений автоматически по заданной программе с учетом текущего состояния активности Солнца.

Комплект мини-ЭВМ «Электроника-100И» (рис. 1) включает 32К слов (12-битовых) оперативной памяти, стандартные устройства ввода и вывода перфокартные СП-3 и ПЛ-80, алфавитно-цифровой дисплей Видеотон-340 с печат-

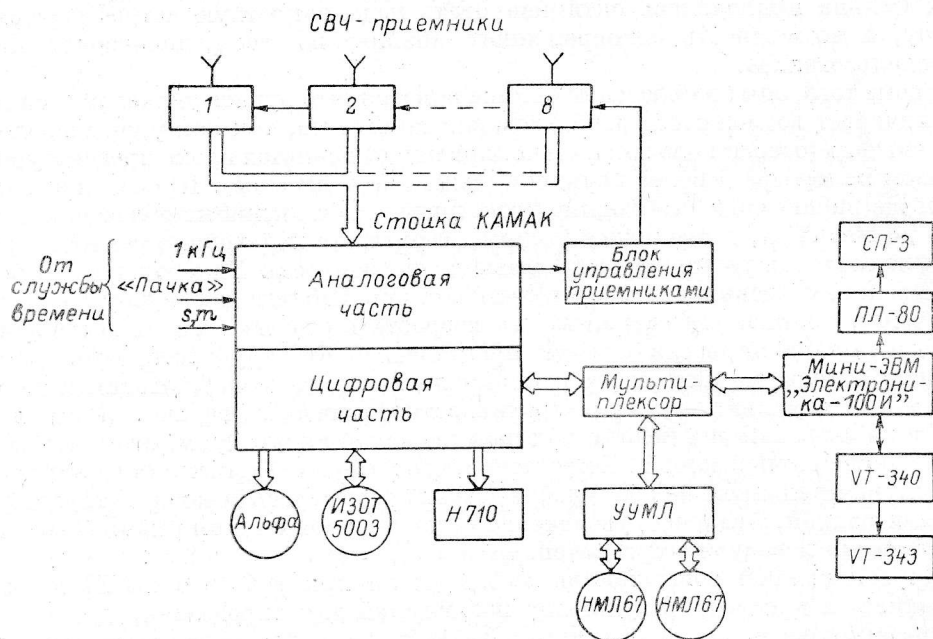


Рис. 1. Конфигурация комплекса ИКАР-16.

Здесь и на рис. 3 цифры 1, 2, ..., 8 обозначают номера радиополяриметров ССПК.

тающим устройством Видеотон-343, позволяющим программно или автономно выводить алфавитно-цифровую информацию, представленную на дисплее. Посредством мультиплексора и устройства управления УУМЛ к мини-ЭВМ

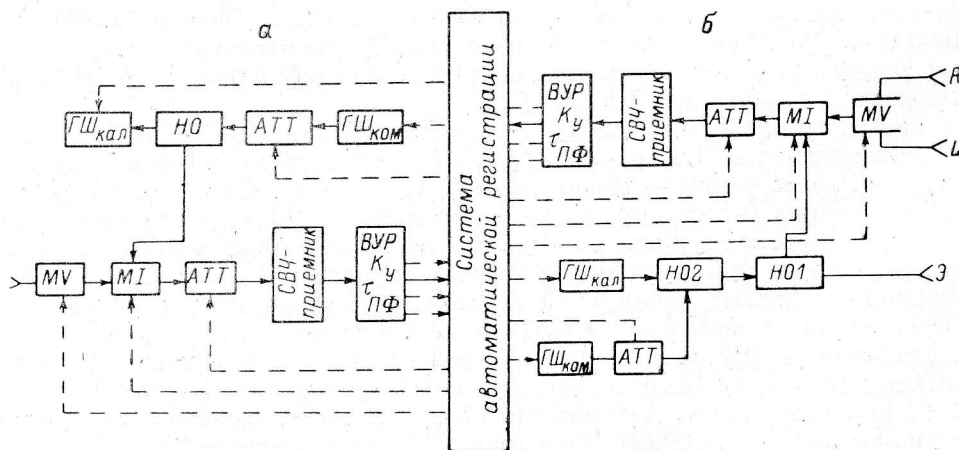


Рис. 2. Блок-схемы радиополяриметров.

Диапазон: а — сантиметровый, б — дециметровый. MI и MV — модуляторы параметров Стокса I и V; НО, НО1, НО2 — направленные ответвители; АТТ — управляемые аттенюаторы; ГШ_{кал}, ГШ_{ком} — генераторы шума для калибровки и компенсации.

подключены два магнитофона типа НМЛ-67, один из которых используется для записи сигналов в процессе наблюдений, а другой может использоваться как системный — для хранения программ и других данных.

Через мультиплексор к мини-ЭВМ подключена также стойка КАМАК с тремя крейтами, включающая аналоговую и цифровую части. Модули КАМАК (рис. 3) обеспечивают ряд операций управления радиометрами: включение

и выключение модуляторов интенсивности и круговой поляризации у каждого радиометра, управление аттенюаторами высокочастотных трактов, которые могут включаться в моменты резкого возрастания сигнала — всплесков радиолучения Солнца. В состав модулей КАМАК входят 16 выходных устройств радиометров (ВУР), подключаемых попарно к каждому из радиометров после детектора и предварительного усиления НЧ. Они обеспечивают узкополосное усиление сигнала на частоте модуляции, его синхронное детектирование и интегрирование. Коэффициент усиления ВУР и постоянная времени выходного сигнала управляются командами от мини-ЭВМ. Коммутатор 16-канальный с 12-разрядным аналоговым преобразователем обеспечивают опрос и перевод в цифровой код последовательно всех 16 регистрируемых каналов.

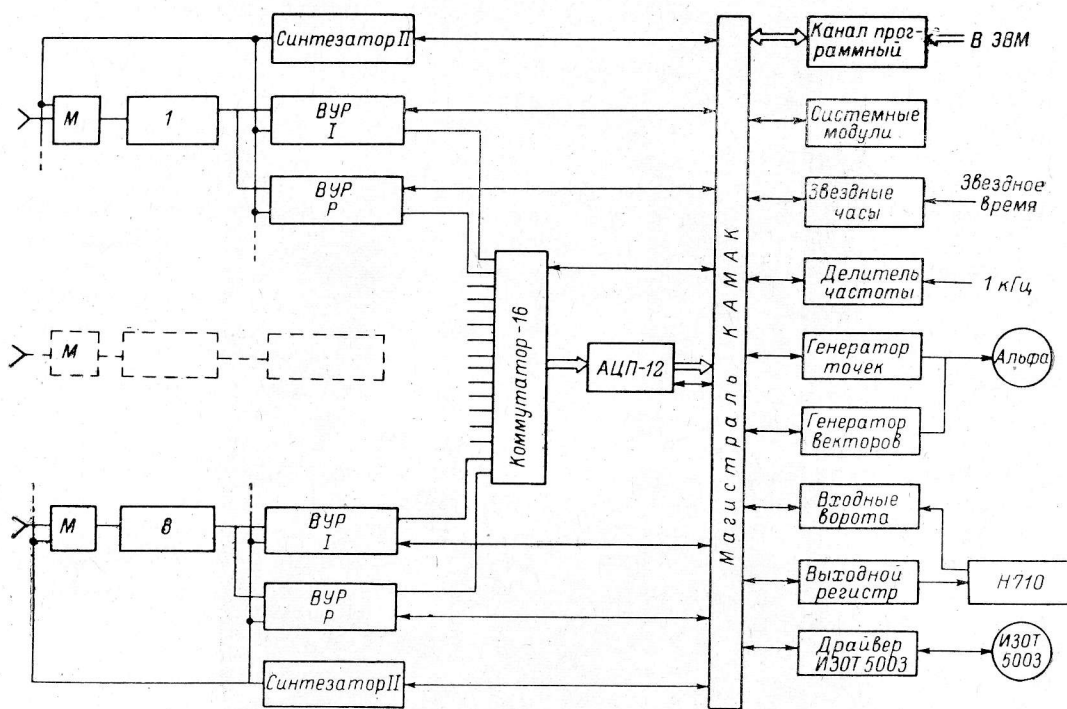


Рис. 3. Конфигурация модулей КАМАК.

Часы комплекса (звездные), выполненные в виде модуля КАМАК, управляются секундными, минутными импульсами и импульсами пачки, поступающими от службы точного времени РАТАН-600, и являются временной опорой для автоматического выполнения заданной программы наблюдений и калибровок. Импульсы пачки устанавливают звездное время в часах после сброса показаний. От службы времени также поступает опорная частота в 1 кГц зв., которая вместе с звездным временем обеспечивает точную фиксацию моментов регистрации сигналов.

Графический дисплей Альфа на запоминающей электронно-лучевой трубке управляется двумя КАМАК-модулями: генератором точек и генератором векторов — и обеспечивает во время наблюдений возможность просмотра в реальном времени сигналов по всем 16 каналам. Эта возможность используется для визуального контроля работы комплекса и всего радиотелескопа в процессе наблюдений. Выведенные на дисплей после первичной обработки кривые записей Солнца могут использоваться также для первичной астрофизической интерпретации. Кривые записей Солнца могут быть программно продублированы на графопостроителе Н710, который управляется через модули КАМАК: выходной регистр и входные ворота.

Магнитофон типа ИЗОТ 5003 управляется программным драйвером через модуль-драйвер ИЗОТ 5003 и может производить запись информации на МД

в стандарте ЕС из оперативной памяти мини-ЭВМ или из внешней памяти, выполненной в виде модуля КАМАК.

На рис. 4 приведена фотография основы комплекса ИКАР-16 — мини-ЭВМ «Электроника-100И» и стойки КАМАК. Стойка КАМАК состоит из трех крейтов, в верхнем крейте расположены системные модули и модули общего назначения, в среднем и нижнем крейтах расположены ВУР каналов интенсивности и каналов поляризации. В верхней части стойки расположен графический дис-

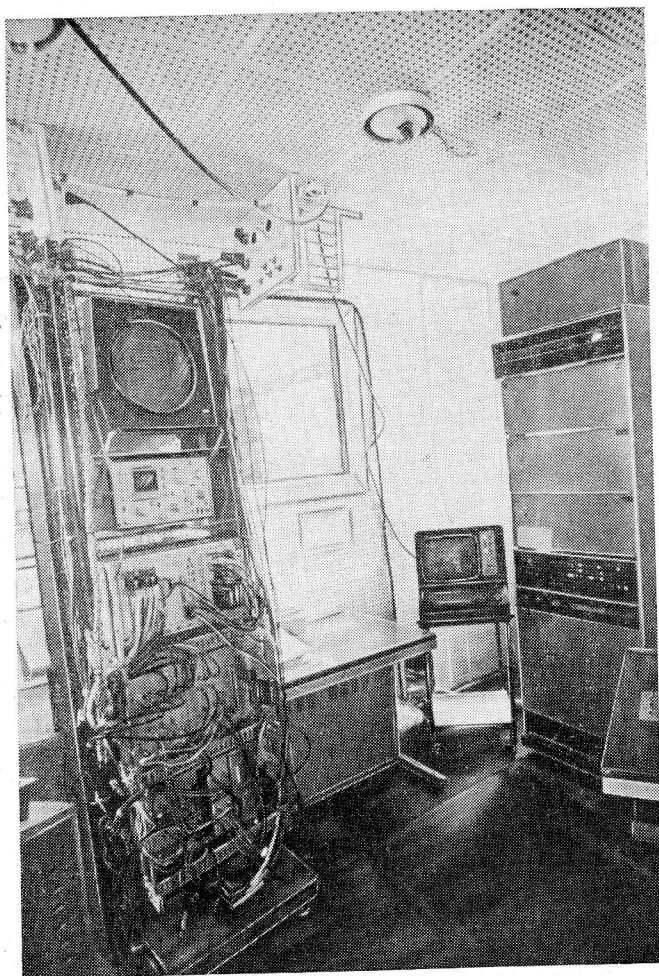


Рис. 4. Основа комплекса ИКАР-16 — мини-ЭВМ «Электроника-100И» и стойка КАМАК.

плей Альфа. Управление работой комплекса осуществляется с клавиатуры дисплея Видеотон-340, расположенного слева от мини-ЭВМ.

Структура математического обеспечения. Открытый характер конфигурации комплекса ИКАР-16, его сложность, многообразие задач, для решения которых он предназначен, требуют развитого математического обеспечения типа операционной системы. Эта операционная система предназначена для работы с комплексом альтернативно в одном из следующих основных режимов: «Наблюдение», «Эксперимент», «Обработка», «Счет» и «Отладка».

«Н а б л ю д е н и е». Это основной и в то же время наиболее сложный режим работы комплекса. Именно в этом режиме комплекс используется по своему основному назначению — для производства максимально эффективных наблюдений Солнца и опорных источников. По своей сути это мультипрограммный режим, обеспечивающий параллельно накопление сигналов, поступающих по 16 каналам на выходной носитель, обработку сигналов в реальном времени,

управление радиометрами и процессом всего наблюдения, имитацию действий наблюдателя в особых ситуациях, требующих оперативного вмешательства в процесс регистрации и управления радиометрами.

«Э к с п е р и м е н т». Это вспомогательный режим, который используется при наладке, контроле, ремонте, профилактике комплекса или отдельных его элементов (например, радиометров). Он реализует полное ручное (через посредство мини-ЭВМ) управление элементами комплекса и содержит в себе набор тестовых программ для отдельных модулей и блоков комплекса, включая радиометры.

«О б р а б о т к а». Это режим первичной обработки и вывода данных наблюдений, обычно используется сразу после завершения наблюдений и преследует следующие цели:

- выдача оперативной информации о результатах наблюдений в графическом виде с учетом калибровок. Эта информация необходима и полезна для корректирования дальнейшей наблюдательной программы и контроля качества работы всего радиотелескопа. В случае Солнца эта информация необходима также для корректирования наблюдательных программ, проводимых совместно с другими обсерваториями, в частности для выбора объекта совместных исследований;

- подготовка данных наблюдений для оперативного информирования заинтересованных организаций о характере солнечной активности с точки зрения задач, имеющих прикладное значение;

- по возможности исключить большие ЭВМ из задач начальной обработки наблюдений и тем самым ускорить и удешевить процесс первичной обработки данных;

- в задачах обработки наблюдений приблизиться к режиму «on line» с результатом, годным для астрофизической интерпретации. Это может существенно сократить сроки астрофизической интерпретации материала и его публикации.

Из сказанного следует, что для первичной обработки первостепенное значение имеет не только сам процесс обработки, но и способы представления данных.

«П л а н и р о в а н и е». Этот режим используется для составления расписания наблюдений на сутки или несколько суток вперед, а также подготовки заданий на проведение сеансов в виде записей на перфоленту или магнитную ленту. Кроме того, он может использоваться для выполнения ряда вспомогательных расчетов, таких как расчеты диаграммы направленности антенны, астрономических эфемерид, таблиц для установки антенны. Для солнечных наблюдений может оказаться целесообразным развитие этого режима в сторону сбора информации солнечной активности, которую необходимо учитывать при составлении программы наблюдений.

«С ч е т». Это дополнительный режим, нацеленный на использование мини-ЭВМ комплекса для вычислительных работ, когда она свободна от работы в комплексе.

«О т л а д к а». Этот режим по своей сути аналогичен режиму «Счет», но предполагает средства, облегчающие отладку новых программ, работу с трансляторами и т. п. В частности, этот режим предполагает организацию удобной для доступа библиотеки прикладных и системных программ на магнитной ленте.

В настоящее время из математического обеспечения перечисленных режимов работы комплекса ИКАР-16 наиболее разработано и используется программное обеспечение режима «Наблюдение», частично разработано и используется программное обеспечение режимов «Обработка», «Планирование», «Эксперимент».

Работа комплекса в режиме «Наблюдение» и его программное обеспечение. Работа комплекса в режиме «Наблюдение» является основной и наиболее сложной. Будучи основным, этот режим к настоящему времени получил наибольшее развитие и опробован в практической работе.

Рассмотрим перемещение информации в комплексе в режиме «Наблюдение» (рис. 3). Всю информацию, перемещаемую в комплексе, можно разделить условно на два вида — основную (обрабатываемую) и управляющую. Обрабатываемая информация — это информация, получаемая в ходе наблюдения объекта.

Она попадает в комплекс в виде сигнала, поступающего из антенны. Управляющая информация генерируется в комплексе на основе обработки основной информации и данных, поступающих от службы времени (звездное время, звездный килогерц и т. д.). К управляющей информации относятся сигналы модуляции, синтезируемые в модулях, синтезатор П, сигналы управления радиометрами (переключение коэффициента усиления, постоянной времени, фазы в ВУР и др.), сигналы управления отдельными узлами комплекса (запуск синхронизирующих импульсов, запуск АЦП, управление графическим дисплеем, управление УУМЛ и др.).

Основная информация, пройдя через СВЧ-тракты, модуляторы и приемники, поступает в ВУРы, отсюда через коммутатор и АЦП в цифровом виде попадает в магистраль КАМАК и затем через модуль «Программный канал» и мультиплексор считывается в память мини-ЭВМ. Здесь она накапливается, проходит обработку, затем выдается обратно в магистраль КАМАК, отсюда на графический дисплей для визуального контроля. Накопленная в памяти мини-ЭВМ информация по мере заполнения буферной памяти записывается через мультиплексор и УУМЛ на магнитную ленту.

Для синхронизации моментов времени съема информации с ВУР со звездным временем используются импульсы с частотой 10 Гц, получаемые путем деления опорной частоты в 1 кГц зв. в модуле «Делитель частоты», и показание часов звездного времени.

На всем пути передвижения основной информации ее сопровождает управляющая информация, как бы указывая ей направление движения. Описанный вид движения информации в комплексе не является единственно возможным, мы выбрали его как наиболее удобный для нашей задачи.

Программное обеспечение режима «Наблюдение» включает в себя несколько программ, объединенных монитором и обеспечивающих различные режимы работы, и состоит примерно из 3800 машинных команд мини-ЭВМ «Электроника-100И». Монитор и часть программ для работы с системой КАМАК разработаны в СКБ НИИ СО АН СССР. Программы обеспечивают три основных режима работы: рабочий режим (WP, WS), режим визуального контроля работы комплекса на дисплее Альфа (DS) и режим ручного управления отдельными модулями КАМАК (CC) (рис. 5).

Работа комплекса в режиме «Наблюдение» начинается с ввода в память мини-ЭВМ задания на наблюдение, в котором содержатся все необходимые данные для проведения наблюдения и последующей обработки: начальные коэффициенты усиления, начальные фазы и постоянные времени ВУР, время кульминации наблюдаемого объекта, его высота, высота антенны и т. д. После этого запускается монитор и ему сообщается режим работы. Общение оператора с монитором и программами, обеспечивающими заданный режим работы, ведется в форме диалога при помощи команд с двухсимвольной мнемоникой.

В режиме визуального контроля в КАМАК-модули загружаются начальные параметры, указанные в задании на наблюдение, проверяется правильность загрузки путем сравнения считанных с модулей состояний с заданием. При несовпадении состояний на печать выдается диагностика неисправности и управление передается монитору для вмешательства оператора. Если начальные параметры загружены правильно, начинается циклический опрос каналов, на экране дисплея индицируются либо все 16 каналов, либо два выбранных канала. Имея визуальный контроль работы комплекса, оператор может корректировать в задании начальные параметры ВУР соответствующими командами.

В рабочем режиме загрузка и контроль загрузки проводятся аналогично, далее в диалоговом режиме проводится поиск свободного места на магнитной ленте, сбрасывается начальное показание часов звездного времени. По времени кульминации наблюдаемого объекта рассчитывается временная последовательность работы комплекса: $T1$ — время начала 1-й калибровки, $T2$ — время начала регистрации, $T3$ — время конца регистрации, $T4$ — время начала 2-й калибровки. Эта последовательность вместе с датой наблюдения и названием наблюдаемого объекта выводится на алфавитно-цифровой дисплей. Затем программа выключает модуляторы радиометров и набирает в буферную память массив для определения уровня нуля во всех каналах, уровни нулей запоми-

наются в памяти машины и впоследствии используются для определения момента поворота фазы сигнала в канале. После этого программа выходит на ожидание внутривидеопрограммного диалога, одновременно ожидая совпадения текущего времени с временной последовательностью. Наблюдение может быть проведено как согласно временной последовательности, так и без соблюдения ее по командам оператора. Кроме того, оператор имеет возможность управлять динамическим диапазоном комплекса помимо автоматического управления при «зашкалах».

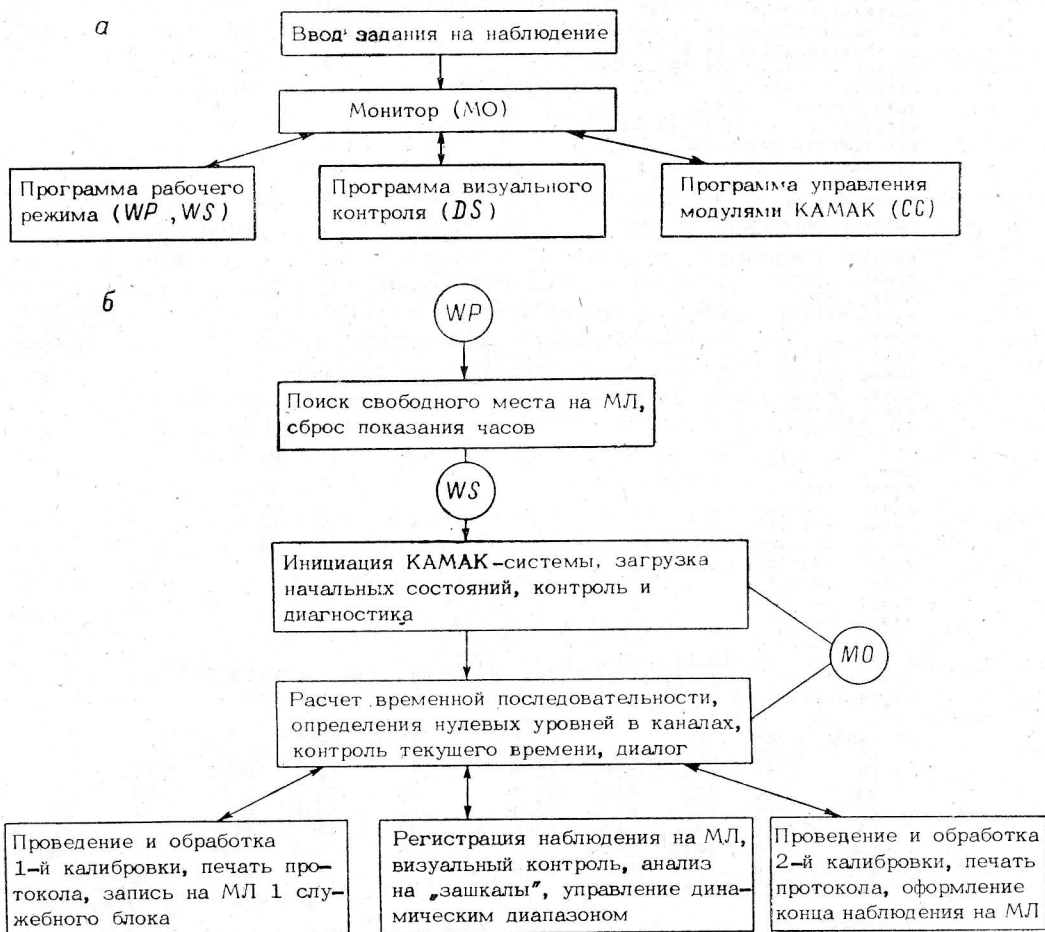


Рис. 5. Структура программного обеспечения режима «Наблюдение» (а) и блок-схема программы рабочего режима (б).

При совпадении текущего времени с моментом T_I запускается делитель частоты, который с частотой 10 Гц прерывает программу и тем самым инициирует опрос всех 16 каналов, т. е. каждые 0.1 с снимаются отсчеты каждого канала. Время между опросами соседних каналов определяется длиной участка программы, осуществляющей опрос каналов и запись отсчетов в буферную память, и составляет примерно 200 мкс. Совместная работа 16-канального коммутатора и АЦП организована в следующем порядке. Опрос каналов происходит циклически с периодом 0.1 с, в начале цикла АЦП коммутирован к первому каналу. Запуск АЦП производится программой, по импульсу конца преобразования АЦП коммутатор подключает его к следующему каналу и т. д., в конце цикла АЦП коммутирован опять к первому каналу.

Калибровка проводится путем включения и выключения известного сигнала (в нашем случае разности температур эквивалента и температуры неба) и усреднения массивов отсчетов по каналам при выключенном и включенном сигнале. Сигнал в каналах во время калибровки индицируется на экране дисплея

для визуального контроля качества калибровки. По концу калибровки на печать выдается протокол калибровки: номера каналов, соответствующие им начальные усиления ВУР и средние значения отсчетов канала при включенном и выключенном сигнале. Протокол калибровки вместе с заданием на наблюдение образуют служебный блок и записываются на магнитную ленту (рис. 6).

```

L
SOURCE NAME COLMUE
NAME OBSERVER ШАТИЛОВ
DATA OBSERVER 03 03 83
OBSERVER NUMBER 13150140
AERIAL ALTITUDE 39 13 01 10
CULMINATION TIME 22 54 28 45
SOURCE ALTITUDE 39 13 01 10
AZIMUTH NUMBER 03
HORN POSITION 1179
DECLINATION 06 58 25 00
AIR TEMPERATURE - 02
FREQUENCY 10
CONFIGURATION VUR
CRATE 1=0337
CRATE 2=0337

BEG FOR VUR
CANAL 1=5200
CANAL 2=5200
CANAL 3=5100
CANAL 4=5200
CANAL 5=5040
CANAL 6=5100
CANAL 7=5400
CANAL 8=5400
CANAL 9=5200

CANAL 10=5200
CANAL 11=5200
CANAL 12=5040
CANAL 13=5777
CANAL 14=5100
CANAL 15=5400
CANAL 16=5400
PHASE VUR
CRATE 1=0114
CRATE 2=0200
COLMUE 03 03 83
T1= 22 31 28 T2= 22 51 28 T3= 22 57 28 T4= 23 17 28
CALIBRATION 1

N CHANNEL KOEF ON OFF KMIN N CHANNEL KOEF ON OFF
01 5200 0712 0206 5200 09 5200 3414 3761
02 5200 1104 0317 5200 10 5200 3624 3765
03 5100 0352 0204 5100 11 5200 3123 4000
04 5200 0425 0174 5200 12 5040 3762 3761
05 5040 0334 0200 5040 13 5777 3244 3776
06 5100 3710 3645 5100 14 5100 3444 3546
07 5400 1217 0201 5400 15 5400 2650 3612
08 5400 2461 2160 5400 16 5400 3617 4002

CALIBRATION 2

N CHANNEL KOEF ON OFF KMIN N CHANNEL KOEF ON OFF
01 5200 0703 0207 5010 09 5200 3413 3761
02 5200 1051 0317 5010 10 5200 3626 3765
03 5100 0404 0203 5020 11 5200 3016 4000
04 5200 0367 0173 5010 12 5040 3762 3760
05 5040 0333 0177 5010 13 5777 3270 3776
06 5100 3706 3642 5100 14 5100 3453 3552
07 5400 1240 0203 5020 15 5400 2633 3607
08 5400 3124 2436 5001 16 5400 3616 4001

```

Рис. 6. Задание на наблюдение и протокол калибровки.

После этого программа выключает делитель частоты и переходит на ожидание совпадения текущего времени с моментом $T2$ и ввода команд с клавиатуры дисплея.

В момент $T2$ программа снова запускает делитель частоты и начинает опрос каналов. После каждого опроса она проводит анализ текущих отсчетов каналов на «зашкалы», при необходимости корректирует коэффициент усиления и фазу ВУР, записывает отсчеты в буферную память, добавляет к ним служебную информацию и по заполнению буферной памяти переходит на вторую буферную память, а информацию с первой сбрасывает на магнитную ленту. Рассортированная по каналам информация индицируется на экране дисплея.

Алгоритм анализа на «зашкалы» выбран нами наиболее простой, рассмотрим его более подробно. Для каналов интенсивности и каналов поляризации анализ на «зашкалы» немного отличается, так как в каналах поляризации знак сигнала, как правило, меняется, тогда как в каналах интенсивности сигнал не меняет знака. Поэтому в каналах интенсивности нулевой уровень сигнала настроен на край диапазона АЦП, а в поляризации — на середину диапазона АЦП. В каналах интенсивности выбираются три пороговых уровня сигнала: A_0 — нулевой уровень, A_n — нижний порог и A_v — верхний порог сигнала. A_0 определяется сразу после запуска рабочего режима и вторично определяется во время первой калибровки, A_v выбирается вблизи верхней границы диапазона АЦП. Поскольку при «зашкалах» нами принято корректировать коэффициент усиления ВУР в 4 раза, то A_n выбирается из условия

$$A_n < \frac{A_v - A_0}{4},$$

с тем чтобы при корректировании коэффициента усиления в 4 раза избежать попадания сигнала с верхнего порога на нижний и наоборот. После каждого цикла опроса каналов отсчеты сравниваются с пороговыми значениями. Если отсчет канала оказался на уровне или ниже порога A_0 этого канала, то фаза ВУР поворачивается на 180° . Если отсчет канала равен или выше верхнего порога A_v , то коэффициент усиления ВУР уменьшается в 4 раза. При дальнейшем увеличении сигнала коэффициент усиления уменьшается с шагом в 4 раза вплоть до минимального значения. Если же отсчет оказался равен или меньше нижнего порога A_n и коэффициент усиления меньше начального значения, то усиление ВУР увеличивается в 4 раза; при дальнейшем уменьшении сигнала коэффициент увеличивается с шагом в 4 раза до начального значения.

В каналах поляризации поворот фазы сигнала на 180° не производится, т. е. отсчеты анализируются не на нулевой уровень, а на пороговые значения A_v и A_n , также на значения A'_v и A'_n , зеркальные к A_v и A_n относительно середины диапазона АЦП.

К каждому циклу отсчетов в зависимости от анализа на «зашкалы» добавляется служебный цикл: при отсутствии «зашкалов» — время кульминации наблюдаемого объекта, текущее время, текущие значения фаз ВУР и т. д., если же имеется «зашкал» хотя бы в одном канале, то в служебный цикл записываются текущие значения коэффициентов усиления всех ВУР с учетом произведенной коррекции.

Между циклами опроса каналов программа следит за текущим временем и командами с пульта, при совпадении текущего времени с $T3$ прекращает регистрацию, незаполненную буферную память дополняет нулями и записывает на магнитную ленту, восстанавливает в ВУР начальные значения коэффициентов усиления, фаз и постоянных времени. Программа после этого переходит в режим ожидания команд с пульта и слежения за текущим временем.

Для избежания лишних потерь информации во время отработки ВУР коррекции коэффициента усиления, постоянная времени уменьшается до минимального значения (~ 0.02 с), что значительно сокращает время переходных процессов ВУР.

При записи блоков на магнитную ленту контролируется правильность записи по стандартным контрольным суммам, при несовпадении контрольных сумм запись блока повторяется до 2 раз. Количество повторов ограничивается временем заполнения буферной памяти, т. е. коррекция записи на магнитной ленте должна закончиться раньше, чем заполнится следующая буферная память.

По моменту $T4$ начинается вторая калибровка, аналогичная первой, печатается протокол калибровки, на ленту записывается второй служебный блок и два маркера «Конец файла», по которым впоследствии определяется свободное место на магнитной ленте. На этом сеанс наблюдения завершается и программа остается в режиме ожидания команд оператора.

Кроме основного входа с монитора в рабочий режим (WP) имеется второй вход (WS), который предполагает, что магнитная головка позиционирована на свободное место верно и показание часов звездного времени правильно.

Режим ручного управления модулями КАМАК работает в диалоговой форме и используется в основном для контроля работы отдельных модулей и локализации их неисправностей.

Программное обеспечение других режимов. В настоящее время в составе программного обеспечения режима «Обработка» работают программы, конечным результатом которых являются графики кривых прохождения в каналах интенсивности и поляризации для каждой длины волны, приведенные к антенной температуре и стандартному масштабу (рис. 7). Такие графики строятся сразу после сеанса наблюдения и являются основным первичным материалом для контроля качества работы всего радиотелескопа, для первичной астрофизической интерпретации и корректирования дальнейшей наблюдательной программы.

Исходным материалом для этих программ являются запись наблюдения на магнитной ленте и задание на наблюдение, по которому производится поиск на ленте данного наблюдения. Когда запись наблюдения найдена, производится выборка заданного канала с ленты и восстановление отсчетов канала за переключения усиления по формуле

$$x'_i = (x_i - A_0) K_0 / K_i,$$

где x'_i — восстановленный отсчет канала; x_i — текущий отсчет канала; K_0 ,

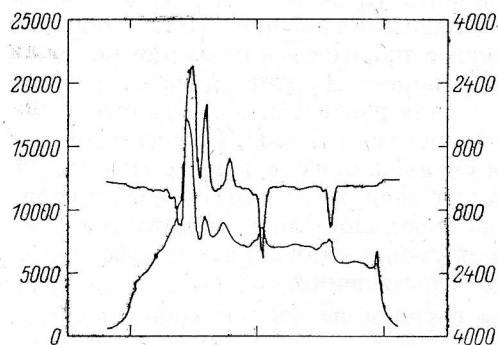


Рис. 7. Запись радиоизлучения Солнца 03.03.83 на $\lambda = 4.0$ см после первичной обработки.

K_i — начальное и текущее значения коэффициента усиления ВУР; A_0 — нулевой уровень канала.

Восстановленная запись индицируется на экране графического дисплея с автоматическим выбором масштаба по оси Y для оперативного визуального контроля работы программы, затем приводится к антенной температуре и стандартному масштабу по оси X и выводится на график с помощью графопостроителя Н710. Для каждой длины волны каналы интенсивности и поляризации выводятся на один график разными цветами и разным масштабом по оси Y с указанием названия объекта, даты наблюдения, длины волны и т. д. Кроме того, программа обеспечивает вывод на график отдельных участков кривой прохождения Солнца, причем участки выбираются оператором в диалоговом режиме. Такие графики используются для более детального изучения отдельных активных областей на Солнце.

Поскольку стандартный формат записи на магнитную ленту мини-ЭВМ «Электроника-100И» не полностью совпадает со стандартным форматом ЕС, возникла необходимость переписи записей с первичной ленты на ленту в стандартном формате ЕС для обработки записей на больших ЭВМ. Эту задачу выполняет программа для работы с магнитными лентами, которая также входит в состав программного обеспечения режима «Обработка». С помощью этой программы записи наблюдений с магнитной ленты НМЛ-67 переписываются на магнитную ленту ИЗОТ 5003 в формате, полностью совпадающем со стандартом ЕС. Эта программа позволяет также проводить просмотр первичных записей на графическом дисплее как с НМЛ-67, так и с ИЗОТ 5003, строить графики на Н710 по массивам команд для Н710, записанным на магнитной ленте ИЗОТ 5003, распечатывать массивы отсчетов из памяти мини-ЭВМ в восьмеричном коде.

Перечень программ, работающих к настоящему времени в составе программного обеспечения режима «Обработка», завершает программа обработки записей опорных источников, полученных на комплексе. После считывания записи опорного источника с ленты, фильтрации отсчетов и обработки программа выдает на печать следующие параметры опорных источников для каждой длины

волны: измеренное время кульминации, антенную температуру, площадь и полуширину кривой прохождения.

Программное обеспечение режима «Планирование» представлено программой подготовки перфоленты задания на наблюдение. С помощью этой программы в режиме диалога с пульта алфавитно-цифрового дисплея задание на конкретное наблюдение формируется и выводится на перфоленту, дублируется на печатающем устройстве. Задание на наблюдение и протоколы калибровок, отпечатанные на АЦПУ, образуют журнал наблюдений. Задание на наблюдение включает в себя 28 параметров, предназначенных как для подготовки комплекса к наблюдению, так и для последующей обработки (рис. 6). Диалоговый режим и средства редакции, заложенные в программе, позволяют легко и быстро формировать задание и вносить в него исправления.

Программное обеспечение остальных режимов работы комплекса находится в процессе разработки и в настоящее время ограничивается тестовыми программами системы КАМАК и стандартным матобеспечением мини-ЭВМ «Электроника 100И».

Некоторые примеры работы комплекса. Наблюдения радиоизлучения Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 с помощью ССПК ИКАР-16 начались с июля 1982 г. в совместной советско-американской программе наблюдений Солнца. В течение этой программы было выполнено около 100 наблюдений радиоизлучения Солнца и опорных источников в режиме работы Южного сектора с плоским отражателем на пяти разных азимутах. Богатый и разнообразный материал, полученный в ходе совместной программы, находится в стадии обработки и астрофизической интерпретации.

Здесь мы покажем некоторые примеры работы комплекса в режимах «Наблюдение» и «Обработка».

Непосредственно после сеанса наблюдений на экране графического дисплея формируется картина, демонстрирующая результат работы комплекса в режиме «Наблюдение» (рис. 8). По этим 16 кривым, соответствующим сигналам в каналах, в процессе наблюдения проводится визуальный контроль работы комплекса и управление работой комплекса — управление динамическим диапазоном в диалоговом режиме. Номера каналов на картине возрастают снизу вверх в порядке возрастания длин волн: нижние 8 кривых соответствуют каналам интенсивности, верхние 8 кривых представляют каналы поляризации. Резкие разрывы кривых при увеличении или уменьшении сигнала соответствуют переключениям коэффициентов усиления ВУР. В каналах интенсивности вблизи уровня нуля видны инверсии знака сигнала, соответствующие поворотам фазы сигнала на 180° .

Комплекс ИКАР-16 обеспечивает не только управление динамическим диапазоном радиометров по входному сигналу (0—20 дБ), но и цифровую регистрацию выходного сигнала с превышением суммарного динамического диапазона радиометров на 10 дБ.

Реализованное в настоящее время быстрое действие цифровой регистрации определяется скоростью обмена информацией мини-ЭВМ с внешней памятью на магнитной ленте (НМЛ-67) и составляет около 20 мс.

Этапы работы комплекса в режиме «Обработка» показаны на следующих рисунках. На рис. 9 и 10 приведены соответственно фотографии записей интенсивности и поляризации радиоизлучения Солнца на длине волны 4 см от 01.09.82, восстановленных за переключения коэффициентов усиления ВУР. Из фотографий видно, что динамический диапазон комплекса позволяет разрешить слабые флуктуации в радиоизлучении S-компоненты Солнца наряду с мощными источниками.

На рис. 11 показан процесс вывода на графопостроитель Н710 результата работы комплекса в режиме «Обработка» — записей интенсивности и поляризации на одной из волн, приведенных к антенной температуре и стандартному масштабу по оси X. Стандартный масштаб позволяет сравнивать результаты радио- и оптических наблюдений непосредственно по первичному материалу.

Заключение. Задачи солнечной радиоастрономии, решаемые в РАТАН-600, требуют обеспечения в наблюдениях не только высокого пространственного разрешения, но также спектрального и временного разрешений. Все это невоз-

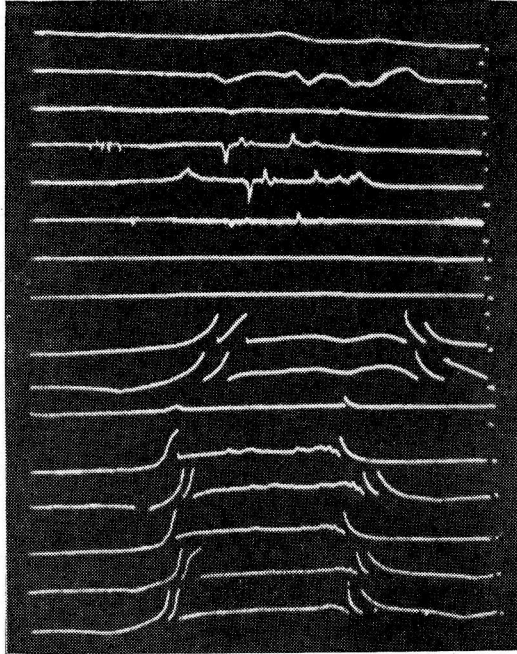


Рис. 8. Фотография с экрана графического дисплея после работы комплекса в режиме «Наблюдение».

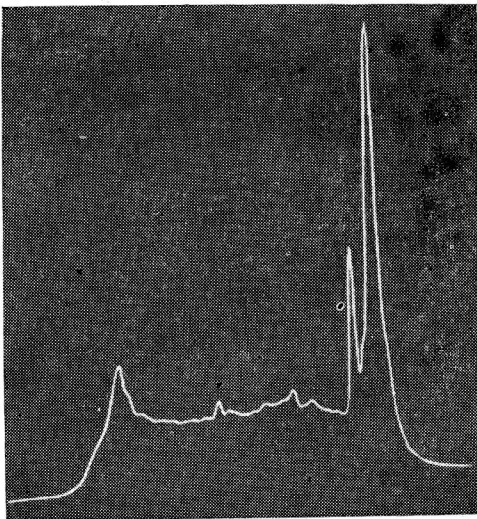


Рис. 9. Фотография с экрана дисплея записи интенсивности радиоизлучения Солнца на $\lambda=4.0$ см после восстановления за переключения усиления.

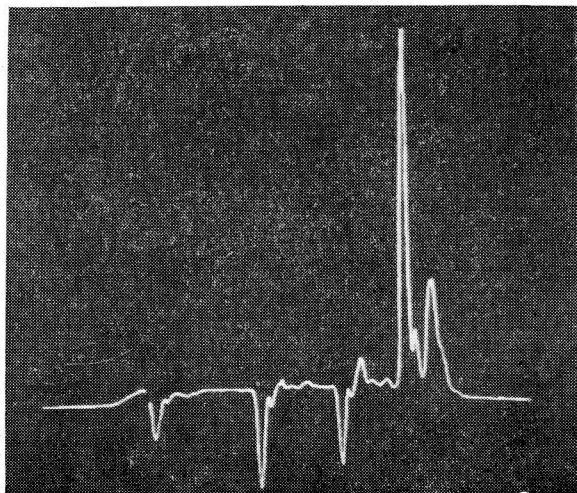


Рис. 10. Фотография с экрана дисплея записи поляризации радиоизлучения Солнца на $\lambda=4.0$ см после восстановления за переключения усиления.

можно было реализовать в рамках существовавшей раньше системы регистрации, основанной на использовании УАР и ЭВМ «Электроника-К200».

Новый комплекс ИКАР-16 представляет собой систему автоматической регистрации, основанную на активном участии мини-ЭВМ в процессе наблюдения Солнца на многоканальном спектрографе. Он позволил увеличить многоканальность ССПК (до 16 каналов) одновременно при существенном уменьшении потерь в регистрации при наблюдениях такого сильнопеременного источника, как Солнце. Это обеспечено за счет программной адаптации параметров комплекса во время наблюдения.

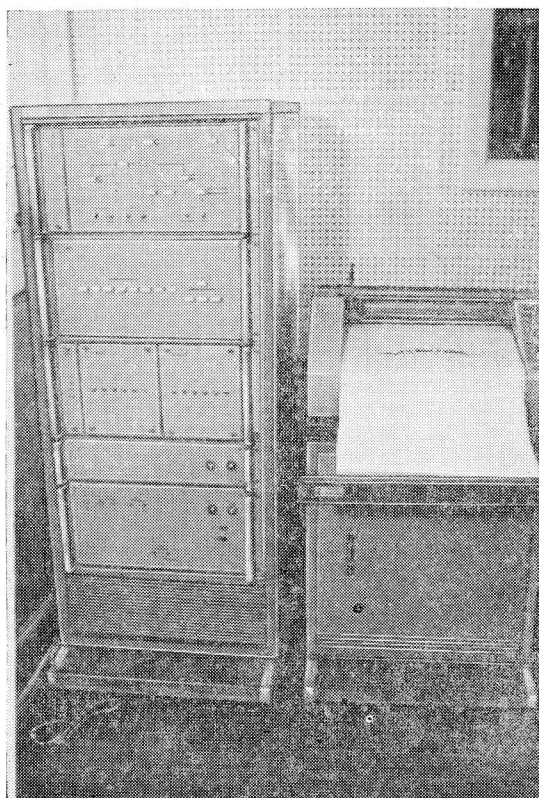


Рис. 11. Процесс вывода результата работы комплекса в режиме «обработка».

Развитое программное обеспечение, набор сервисных программ, наличие набора устройств представления графической информации значительно увеличивают быстродействие оперативного представления данных наблюдений, что является весьма важным фактором при срочном обмене информацией во время проведения внутрисоюзных, международных программ совместных исследований Солнца.

Кроме того, существуют определенные перспективы по увеличению эффективности комплекса. Это и возможность увеличения числа каналов без значительного изменения матобеспечения, и возможность автоматического тестирования основных параметров радиометров и регистрирующей аппаратуры комплекса, а также возможность более совершенной первичной обработки наблюдений непосредственно после их проведения.

Все это позволяет резко увеличить информативность комплекса при наблюдениях Солнца на РАТАН-600, что в совокупности с разрабатываемым сейчас режимом слежения и подслеживания на Южном секторе с плоским отражателем (в сочетании, естественно, с широким анализом спектра и высоким пространственным и временным разрешением) создаст фундамент для более полного изучения вопросов физики Солнца и его активности.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность П. А. Фридману, А. И. Трофимову, А. А. Иванову, сотрудникам СКБ НИ СОАН СССР В. В. Воробьеву, П. Г. Сафонову, активно способствовавшим выполнению данной работы.

Литература

1. Богод В. М. Автореф. канд. дис. 1980.
2. Многоканальное устройство автоматической регистрации информации для радиометров СВЧ / Л. З. Посошенко, Б. Г. Игнатов, В. А. Тимофеев, Н. А. Тихомиров. — В кн.: Вторая Всесоюзная школа-семинар. Тезисы докладов. Ереван, 1974, с. 181.
3. Парийский Ю. Н., Корольков Д. В. Наблюдения Солнца на радиотелескопе РАТАН-600. Первые результаты. — Астрон. ж., 1976, т. 53, вып. 5, с. 1017—1026.
4. Исследование локальных источников медленно меняющейся компоненты радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне / Г. Б. Гельфрейх, Ш. Б. Ахмедов, В. Н. Боровик и др. — Изв. ГАО, 19, № 185, с. 167—182.
5. Многоволновой облучатель на резонаторе бегущей волны с единым фазовым центром для применения в радиоастрономии / В. М. Богод, В. Н. Дикий, Д. В. Корольков, В. Е. Сорель. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1983, 17, с. 124—130.
6. Никитюк Н. М. Программно-управляемые блоки в стандарте КАМАК. М.: Энергия, 1977.
7. Акушский И. Я., Трояновский В. М. Программирование на «Электронике 100И» для задач АСУ ТП. М.: Сов. радио, 1978.

Поступила в редакцию 29 апреля 1983 г.