

УДК 621.396.628 : 523.164

УПРАВЛЕНИЕ ПРИЕМНОЙ АППАРАТУРОЙ РАДИОТЕЛЕСКОПА
РТ-22 С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

*Т. И. Алфимова, А. В. Куценко, Б. А. Полосьяну, Г. Т. Смирнов,
Р. Л. Сороченко, С. А. Терехин, В. А. Широченко*

Описана система автоматизации радиоастрономических наблюдений на многоканальном радиоспектрометре РТ-22 ФИАН, созданная на базе мини-ЭВМ М-6000. Разработанное программное обеспечение позволяет: а) полностью автоматически проводить цикл спектральных измерений с многоканальным сбором, накоплением и предварительной обработкой информации, б) в диалоговом режиме через дисплей выбирать конкретную программу и управлять ходом эксперимента, в) представлять на экране дисплея информацию о ходе эксперимента, а также результаты предварительной обработки информации. Окончательная обработка производится после проведения эксперимента в автономном режиме. Рассмотрены перспективы развития системы.

Спектральные наблюдения радиолиний — одно из наиболее интересных и плодотворных направлений в современной радиоастрономии, ставшее особенно актуальным после открытия в межзвездной среде сложных органических молекул.

22-метровый радиотелескоп ФИАН, оборудованный чувствительной приемной аппаратурой для наблюдений в миллиметровом и сантиметровом диапазонах, является идеальным инструментом для спектральных радиоастрономических исследований. Для этих исследований на РТ-22 был разработан и изготовлен 32-канальный анализатор спектра АС-32 [1]. В то же время хорошо понималось, что специфика спектральных исследований (многоканальность, необходимость длительного накопления для выделения слабых сигналов из шума, оперативное представление информации о ходе наблюдений) требует сопряжения приемной аппаратуры с ЭВМ, работающей в реальном масштабе времени. В начале 1974 г. на РТ-22 была пущена в эксплуатацию простая система на базе АС-32 и мини-ЭВМ ТРА-1001/1, на которой были автоматизированы операции многоканального накопления и вывода информации [2]. Предназначенная для радионаблюдений кометы Когоутека система, тем не менее, в течение года использовалась в проведении плановых работ. Накопленный на системе опыт позволил четко сформулировать требования к автоматизации управления приемной аппаратурой, методике работы и к алгоритмам обработки и представления результатов.

Созданная с учетом этих требований система на базе мини-ЭВМ М-6000 позволяет производить весь цикл исследований полностью автоматически, с минимальным вмешательством оператора. Ввиду того, что система снабжена программным обеспечением, ориентированным, в первую очередь, на проведение спектральных исследований, весь комплекс аппаратуры, включая высокочастотную часть радиометра, анализатор спектра и ЭВМ с введенными в нее программами представляет собой по существу автоматизированный многоканальный радиоспектрометр.

Работа по радиоспектрометру выполнялась согласно проекту комплексной автоматизации радиотелескопа РТ-22 [3], и его создание следует рассматривать как реализацию одного из этапов проекта.

Аппаратура. Блок-схема автоматического радиоспектрометра приведена на рис. 1. Модуляция внешнего сигнала осуществляется переключением входа приемника между двумя одинаковыми рупорными облучателями, симметрично вынесенными из фокуса. В результате этого прием внешнего излучения происходит попеременно из двух направлений, разнесенных на угол φ_p . Модулятором (М), а также синхронными детекторами (СД) управляет генератор опорного прямоугольного напряжения (ГОН).

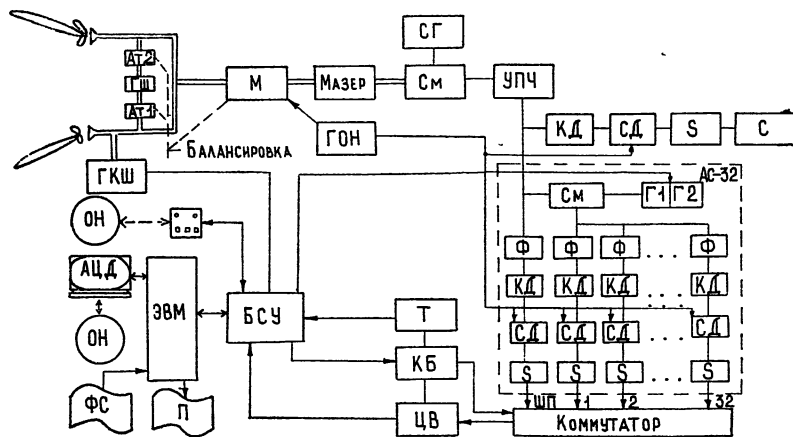


Рис. 1. Блок-схема автоматического радиоспектрометра радиотелескопа РТ-22:

АТ—аттенуатор, ГШ—генератор шума, УПЧ—усилитель промежуточной частоты, Г—гетеродин, КД—квадратичный детектор, S—интегратор, С—самописец, ГКШ—генератор калибровочного шума, ОН—оператор наведения.

Усиленный мазером сигнал поступает на смеситель (СМ), где смешивается с сигналом от стабильного программируемого гетеродина (СТ). После усиления на промежуточной частоте в полосе 50—70 МГц сигнал поступает на анализатор спектра АС-32 [1], который производит спектральное разложение сигнала по 32 каналам с шириной полосы канала 500 или 115 кГц. Аналоговая информация с 32 узкополосных каналов и одного канала широкой полосы (ШП) через измерительную подсистему поступает на ЭВМ, в качестве которой применен модифицированный основной комплект М-6000. С целью контроля за функционированием приемной аппаратуры аналоговый выход с широкополосного канала регистрируется также на самописце.

В состав ЭВМ входят: процессор, 8 К памяти, расширитель ввода-вывода (РВВ), фотосчитыватель FS-1501 (ФС), перфоратор Perfomom-30 (П) и алфавитно-цифровой дисплей Videoton-340 (АЦД).

ЭВМ сопряжена с радиоспектральной аппаратурой через стандартный дуплексный регистр и специальный разработанный блок сопряжения и управления (БСУ). БСУ производит мультиплексирование входной цифровой информации, а также обеспечивает выдачу управляющих воздействий на радиоспектрометр.

Измерительная подсистема (таймер (Т), командный блок (КБ), цифровой вольтметр (ЦВ) и коммутатор) построена на базе электронно-цифрового регистратора ЭЦР-1. Разобшение в этом приборе жестко

запрограммированных связей позволило управлять с помощью ЭВМ запуском регистрации и приемом информации. Метки времени от электронных часов регистратора использованы в качестве таймерных импульсов для ЭВМ.

Методика работы. После ввода программы в машину все управление экспериментом осуществляется через дисплей в диалоговом режиме, для чего в процессе работы были разработаны интерфейс и программное обеспечение дисплея.

Программа управления спектрометром в реальном масштабе времени циклического действия, т. е. она позволяет производить неограниченные серии различных экспериментов один за другим. В соответствии с этим существует начальный этап предварительного инициирования, при котором в систему вводятся дата, текущее время и название первого эксперимента.

Затем система предлагает оператору некую «типовую» программу эксперимента. Оператор может либо принять ее, либо модифицировать. Изменяемыми параметрами являются: выбор полосы фильтров (Φ) в анализаторе (500 и 115 кГц), порядок выполнения фаз наблюдения — «сигнал» — «ноль» — «калибровка», число циклов накопления по каждой из фаз, а также необходимость проведения специального калибровочного измерения. После ввода программы наблюдения радиоспектрометр готов к работе и по команде от оператора наблюдения он переходит к выполнению эксперимента. Типичный режим работы радиоспектрометра приведен на рис. 2. Он состоит из трех фаз:

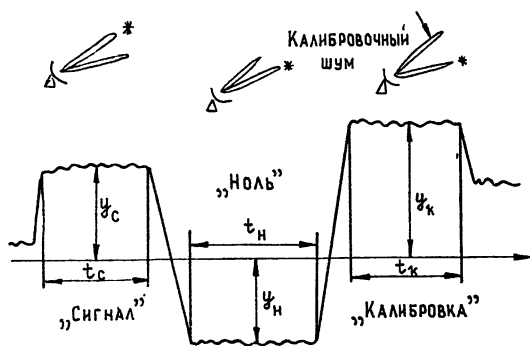


Рис. 2. Типичный режим работы радиотелескопа при спектральных наблюдениях;

$$T_n = T_k \left(\frac{\sum y_c}{t_c} - \frac{\sum y_n}{t_n} \right) / \left(\frac{\sum y_k}{t_k} - \frac{\sum y_n}{t_n} \right).$$

1) радиотелескоп следит одной из диаграмм за источником и производит многоканальное накопление сигнала за время t_c (число циклов сканирования N_c) — условно «сигнал»;

2) радиотелескоп следит другой диаграммой (смещенной на угол φ_p от первой) за источником, и производится накопление сигнала за время t_n — условно «ноль»;

3) производится «подшумливание» калибровочной трубкой и также накапливается сигнал — условно «калибровка».

Такая методика проведения измерений позволяет исключить различные аппаратные эффекты, и величина принимаемого сигнала удваивается [4].

При работе с разрешением 500 кГц осуществляется спектральный анализ по 32 точкам в полосе 17 МГц (расстояние между фильтрами 550 кГц). Фильтры с полосой 115 кГц разнесены по частоте на двойную величину — 230 кГц. Поэтому анализ в полосе 7,3 МГц осуществляется по 64 точкам за два полуцикла путем программного переключения гетеродинов Г1—Г2 на 115 кГц и соответствующей обработки (рис. 3).

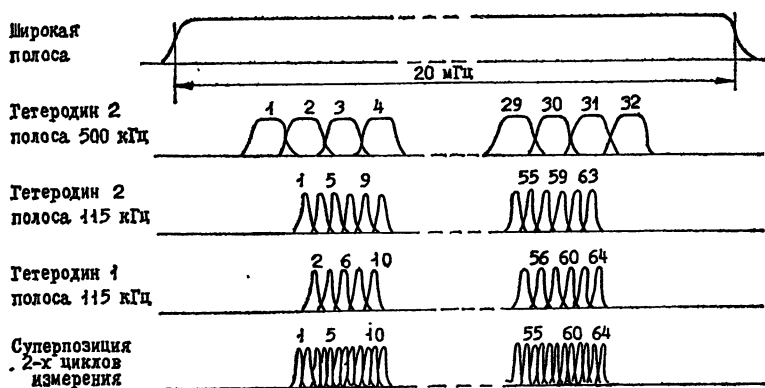


Рис. 3. Схематическое изображение спектрального анализа с разрешением 500 и 115 кГц.

Во время управления экспериментом на экране дисплея появляется информация, позволяющая оператору судить о ходе выполнения программы наблюдения, а также контролировать длительность отдельных фаз наблюдения. С целью оперативной оценки качества эксперимента по окончании цикла наблюдения на экран дисплея может быть выдана спектрограмма, т. е. график зависимости антенной температуры источника в полосе данного канала от номера канала. Для последующей обработки выдается перфоленга с результатами предварительной обработки, которая является документом одного цикла наблюдения. Затем оператор наблюдения может точно повторить программу или ввести необходимые изменения, и все операции повторяются.

Обработка результатов. В системе разделены процессы предварительной обработки информации, производящейся в реальном масштабе времени, и окончательной обработки, выполняемой после проведения экспериментов.

Предварительная обработка включает: 1) многоканальное суммирование принятых сигналов с целью их выделения из шума, 2) подсчет сумм квадратов сигналов для расчета средне-квадратичного отклонения, 3) накопление сумм произведений сигнала на моменты времени его измерения с целью компенсации линейного ухода нуля.

Для построения графика на экране дисплея производится упрощенная экспресс-обработка. Антенная температура источника в полосе данного канала T_n вычисляется по формуле:

$$T_n = T_k \frac{\bar{y}_c - \bar{y}_n}{\bar{y}_k - \bar{y}_n},$$

где \bar{y}_c , \bar{y}_n , \bar{y}_k — средние значения сигналов на выходе анализатора соответственно в фазах «сигнал», «ноль» и «калибровка», T_k — температура калибровочной трубки (рис. 2).

Программа окончательной обработки написана на языке ФОРТРАН. Она включает в себя подпрограмму обработки одного цикла наблюдений («записи»), т. е. вычисления методом наименьших квадратов для каждого канала антенной температуры источника, скорректированной за линейный уход нуля, среднеквадратичной ошибки измерения и подпрограмму поканального усреднения «записей» с учетом различия поглощения в атмосфере для разных записей с весами обратно про-

порциональными квадратам среднеквадратичных ошибок в каналах. Программа окончательной обработки может быть расширена путем введения дополнительных подпрограмм.

Заключение. Созданный радиоспектрометр мы рассматриваем как один из этапов работы по автоматизации исследований на радиотелескопе. Имеющийся работоспособный вариант системы уже в настоящее время позволяет производить широкий класс спектральных наблюдений. Накопленный в результате экспериментов опыт будет использован при дальнейшем развитии системы. Видны следующие пути развития автоматизации:

а) переход к полностью автоматизированному управлению всем комплексом приемной аппаратуры радиотелескопа, в том числе управлением частотой гетеродина, балансировкой лучей и контролем за работой отдельных частей аппаратуры;

б) переход на автоматическое наведение телескопа и автоматическое сопровождение по различным исследовательским программам;

в) дальнейшее совершенствование диалогового режима управления системой с целью достижения простоты и удобства работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Гуднов, А. В. Куценко, Г. А. Павлов, Б. А. Полосьянц, Г. Т. Смирнов, Р. Л. Сороченко, VIII Всесоюзная конференция по радиоастрономии, Тезисы докладов, Пущино, 1975, стр. 115, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика (в печати).
2. А. В. Куценко, Б. А. Полосьянц, Г. Т. Смирнов, Р. Л. Сороченко, С. А. Терехин, Препринт ФИАН, № 84, 1974.
3. А. В. Куценко, Б. А. Полосьянц, Ю. М. Полубесова, Р. Л. Сороченко, VIII Всесоюзная конференция по радиоастрономии, Тезисы докладов, Пущино, 1975, стр. 146.
4. В. М. Гуднов, Р. Л. Сороченко, Астрон. ж., 44, 1001 (1967).

Физический институт им. П. Н. Лебедева
АН СССР

Поступила в редакцию
27 октября 1975 г.

COMPUTER CONTROLLED RECEIVES OF THE RT-22 RADIOTELESCOPE

*T. I. Alfimova, A. V. Kutsenko, B. A. Polos'yants, G. T. Smirnov,
R. L. Sorochenko, S. A. Terekhin, V. A. Shirochenkov*

A system is described for automation of radio astronomical observations by a multi-channel radio spectrometer RT-22 (FIAN) developed on the basis of a mini-computer M-6000. The software developed permits: a) to carry fully automatically a cycle of spectral measurements with a multi-channel acquisition and pretreatment, b) to choose a specific program in an interactive mode using a display and to control the experiment, c) to display the experimental results on the screen, as well as the results of pretreatment. The final reduction is made off-line. Perspectives of developing the system are considered.