

АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ ДВУМЯ РАДИОСПЕКТРОМЕТРАМИ РАДИОТЕЛЕСКОПА РАТАН-600

В. Г. Могилева, А. С. Морозов, В. А. Прозоров, Н. Ф. Рыжков

Аппаратура обеспечивает исполнение получаемой от ЭВМ программы наблюдений на двух радиоспектрометрах одновременно. В состав аппаратуры входят система программного управления режимами работы, параметрами и частотами настройки радиоспектрометров и система сбора данных, передаваемых для регистрации и обработки в ЭВМ. Приводятся блок-схемы спектрометрического комплекса с аппаратурой управления, функциональные схемы систем и их описание.

This equipment provides executing of the observational computer programme for two spectrometers simultaneously. The equipment consists of the monitoring system of operational modes, parameters and tuning frequencies of the radiospectrometers and data recording system for the computer. The block diagrams of the spectrometric complex with the control equipment and operational diagrams are described.

В 1977 г. на облучателе № 2 радиотелескопа РАТАН-600 была введена в эксплуатацию аппаратура управления радиоспектрометром [1], которая позволила полностью автоматизировать все операции стандартной программы спектральных наблюдений, включая управление частотой гетеродина и сбором данных, передаваемых для регистрации и обработки в ЭВМ. Аппаратура обладала высокой надежностью и в течение семи лет успешно эксплуатировалась при выполнении спектральных наблюдений. На основе накопленного опыта к 1984 г. была завершена разработка более совершенной аппаратуры для одновременного управления работой и сбором данных двух радиоспектрометров (РС).

Следует отметить, что к началу проектирования новой аппаратуры были существенно расширены методические возможности применяемых РС: разработан импульсно-компенсационный (ИК) метод и его комбинации с модуляционным методом [2, 3], внедрена методика измерений с шумовым пилот-сигналом и модуляцией усиления [4, 5], с появлением заводских синтезаторов частоты типа Ч6-31 назрела необходимость в создании новой системы управления частотой гетеродинов, наличие микро-ЭВМ в кабине облучателя позволяло значительно увеличить поток регистрируемой информации [6] и открывало возможность управления процессом наблюдения непосредственно от машины. К этому времени возросли аппаратурные возможности спектрометрического комплекса — он включал в себя четыре штатных спектральных приемника (СП) на волны 21 см (СП-21), 18 см (СП-18), 6.2 см (СП-6.2) и 1.35 см (СП-1.35), а в дополнение к штатному анализатору спектра АС-30-40 (40 каналов с разрешением 30 кГц [1]) разрабатывались 100-канальный фильтровый анализатор с разрешением 15 кГц (АС-15-100 [7]), 128-канальный цифровой автокорреляционный анализатор (АКА-128 [8]) с более высоким разрешением по частоте и широкополосный акустооптический анализатор спектра (АОАС [9]).

Для более эффективного использования РАТАН-600 было признано целесообразным компоновать из перечисленного выше комплекта аппаратуры два независимых РС с различным спектральным разрешением и с их помощью проводить наблюдения одновременно на двух (из четырех возможных) длинах волн, соответствующих штатным СП. С этой целью в САО АН СССР были разработаны система программного управления (СПУ-2), позволяющая автоматизировать

работу двух РС с использованием новых методических возможностей, и система сбора данных (ССД-2), обеспечивающая сбор служебной и измерительной информации от двух РС с фильтровыми анализаторами спектра для регистрации и обработки в ЭВМ.

Блок-схемы спектрометрического комплекса и управляемых радиоспектрометров. На рис. 1 показана упрощенная блок-схема спектрометрического комплекса с системами программного управления — СПУ-2 и сбора данных — ССД-2. В состав комплекса входят следующие основные функциональные устройства: спектральные приемники — СП (включая гетеродины и системы синхронизации их частоты), анализаторы спектра — АС (включая выходные

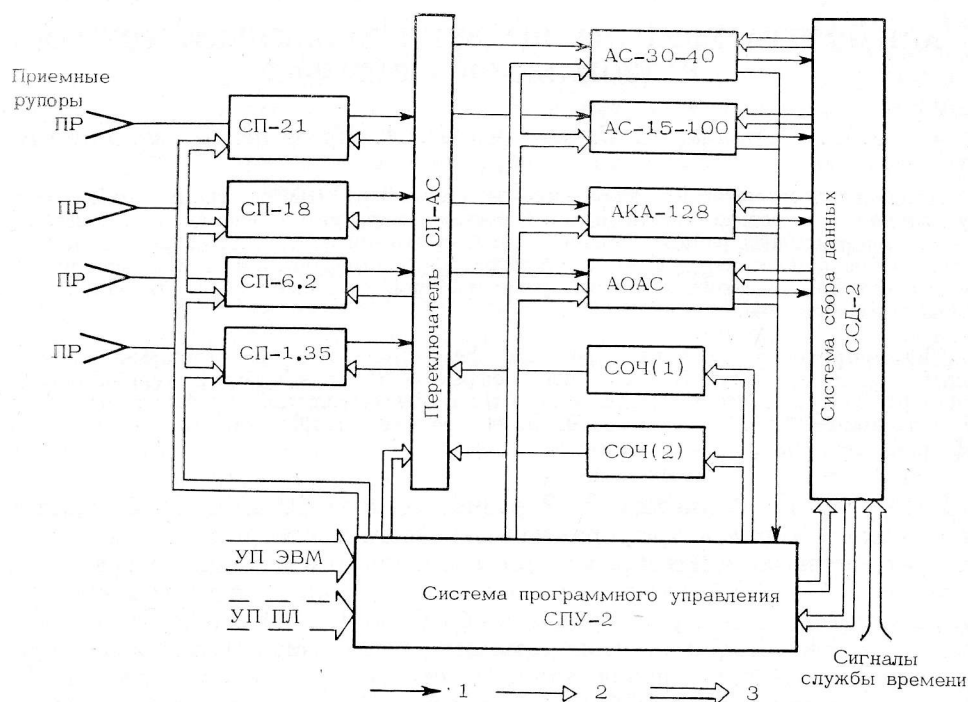


Рис. 1. Структурная схема спектрометрического комплекса со СПУ-2 и ССД-2.

1 — цепи измеряемых сигналов; 2 — цепи опорных частот гетеродинов; 3 — цепи управления и синхронизации.

устройства с коммутаторами каналов), синтезаторы опорной частоты — СОЧ и переключатель СП—АС, коммутирующий соединительные цепи СП и АС.

СПУ-2 связана цепями дистанционного управления (ЦДУ) с исполнительными элементами (реле, электронными ключами, электродвигателями и пр.), находящимися в различных блоках РС и обеспечивающими при поступлении в ЦДУ управляющих сигналов (команд) заданное функционирование соответствующих устройств. ЦДУ по функциональным признакам можно разделить на следующие группы:

- цепи формирования РС (1, 2),
- цепи управления режимами работы СП (1, 2) и АС (1, 2),
- цепи управления параметрами АС (1, 2),
- цепи управления частотой СОЧ (1, 2),
- цепи авторегулирования.

Цифры в скобках указывают условные порядковые номера РС, а также входящих в них устройств и соединительных цепей.

Для компоновки двух радиоспектрометров из имеющегося комплекта штатных СП и АС используются 16 цепей формирования РС (1, 2), по которым передаются команды к переключателю СП—АС для коммутации соответствующих соединительных цепей. На рис. 2 приведена блок-схема сформированных таким

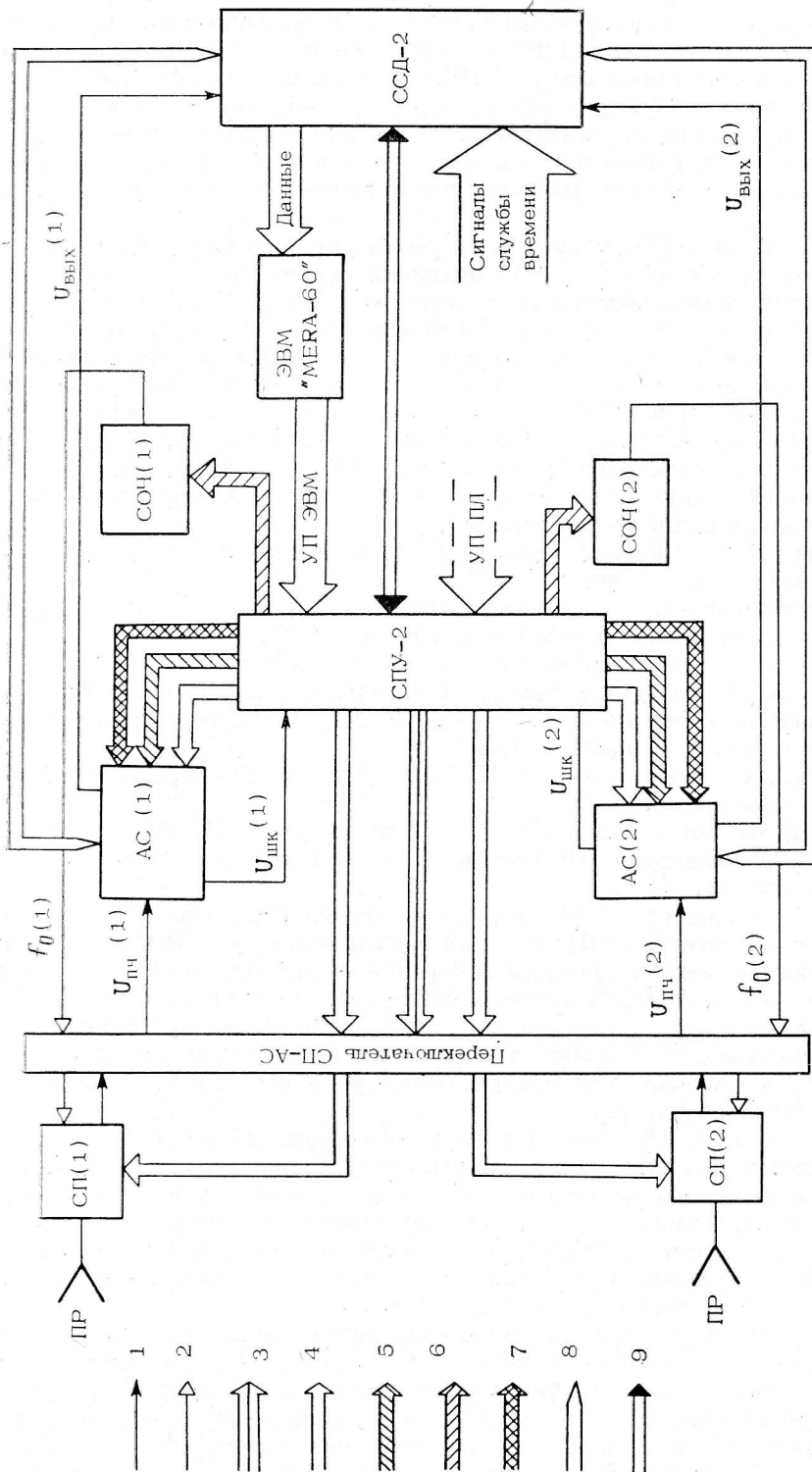


Рис. 2. Структурная схема двух программно-управляемых радиоспектрометров.

1 — цепи измераемых сигналов; 2 — цепи опорных частот гетеродинов СП (1, 2); 3 — цепи формирования режимов работы РС (1, 2); 4 — цепи управления режимами работы РС (1, 2); 5 — цепи управления параметрами АС (1, 2); 6 — цепи управления опорной частотой СОЧ (1, 2); 7 — цепи авторегулирования АС (1, 2); 8 — цепи управления коммутаторами каналов АС (1, 2); 9 — местные цепи управления.

образом радиоспектрометров РС (1) и РС (2), включающих в себя соответственно спектральные приемники СП (1) и СП (2), анализаторы спектра АС (1) и АС (2) и синтезаторы опорных частот СОЧ (1) и СОЧ (2).

К каждому СП от СПУ-2 подводятся 4 цепи управления режимами работы, по которым передаются управляющие сигналы к модулятору антенна—эквивалент и трем генераторам шума (ГШ): калибровочному — КГШ, балансирующему — БГШ и подшумливающему — ПГШ. Сигналы, передаваемые по этим ЦДУ, устанавливают любые режимы работы СП, необходимые для выполнения подготовительных операций, стандартных программ наблюдений и контрольных измерений. Эти же управляющие сигналы используются и в тех случаях, когда применяется метод измерений с шумовым пилот-сигналом и модуляцией усиления.

К каждому АС от СПУ-2 подводится 9 цепей управления режимами работы, 2 цепи авторегулирования и 7 цепей управления параметрами. Сигналы, передаваемые по этим цепям, обеспечивают установку любых режимов работы АС, используемых при выполнении подготовительных операций, стандартных программ наблюдений и контрольных измерений, с заданными параметрами. Кроме того, 4 цепи управлений коммутаторами каналов связывают каждый АС фильтрового типа (АС-30-40 и АС-15-100) с ССД-2 (сбор данных в анализаторах АКА-128 и АОАС осуществляется с помощью ЭВМ без участия ССД-2).

К каждому радиоспектрометру подводится 50 цепей управления частотой СОЧ. Передаваемые по ним сигналы обеспечивают программное управление частотой гетеродина в процессе наблюдений.

Блок-схема СПУ-2. На рис. 3 приведена блок-схема СПУ-2, которая содержит 8 функциональных узлов:

- устройство ввода и/у управления (УВУ);
- устройство управления режимами работы (УУР);
- формирователь модулирующих импульсов (ФМИ);
- устройства управления параметрами (УУП), отдельные для каждого РС;
- формирователи сигналов управления (ФСУ), отдельные для каждого РС;
- блок источников питания (БИП).

Устройства, входящие в состав СПУ-2 и ССД-2, связаны между собой местными цепями управления.

В СПУ-2 предусмотрено 3 режима управления: от ЭВМ «МЕРА-60» и два автономных по отношению к ЭВМ режима — управление от перфоленты (ПЛ) и вручную, с пульта.

В режиме управления от ЭВМ в систему автоматически вводятся команды управляющей программы (УП), которая рассчитывается в ЭВМ и вводится в СПУ-2 непосредственно в процессе измерений — каждые 10 с* (* — признак звездного времени) вводится очередной кадр УП. По окончании ввода кадра в СПУ-2 вырабатывается команда ИР_п («изменение режима программное»), по которой производится отработка всех заданных в кадре УП команд. Система обеспечивает многократную автоматическую отработку УП без непосредственного участия оператора.

При управлении от ПЛ предварительно рассчитанная на ЭВМ и выведенная на перфоленту управляющая программа (УП ПЛ) вводится в СПУ-2 во время наблюдения с помощью фотосчитывающего устройства типа СП-3, которое управляется импульсами С_п («считывание программы») с периодом следования 30 сек*, поступающими из ССД-2, и осуществляет покадровый ввод в УВУ управляющей программы. Отработка всех заданных в кадре команд также производится по окончании ввода кадра УП.

В режиме ручного управления СПУ-2 позволяет с помощью органов управления, расположенных на лицевых панелях СПУ-2 и ССД-2, производить установку нужных параметров и режимов работы радиоспектрометров и осуществлять их отработку нажатием кнопки ИР_д («изменение режима дистанционное»). Ручное управление предусмотрено для проведения контрольных измерений и выполнения наблюдений с использованием нестандартных режимов работы РС.

Перед наблюдением с помощью тумблера «режим управления» на лицевой панели СПУ-2 задается режим, в котором будет функционировать система в последующее время — программное управление от ЭВМ (тумблер в положе-

Сигналы управления

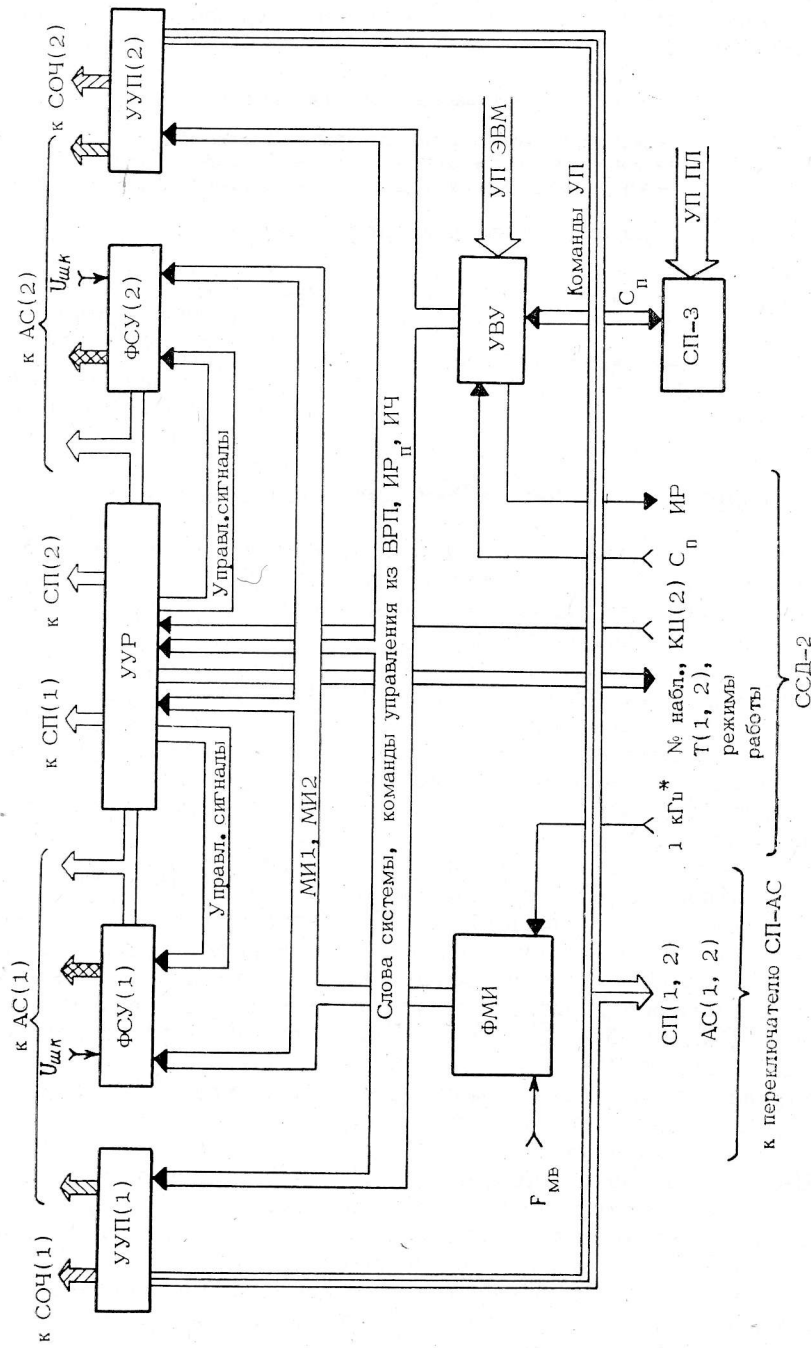


Рис. 3. Функциональная схема системы программного управления СПУ-2.

нии «ЭВМ») или автономное, независимое от машины управление (тумблер в положении «АВТ»). Вслед за этим с помощью движковых переключателей производится выбор частоты и, в случае ИК метода измерения, скважности модулирующих импульсов МИ (1, 2). Нажатием кнопки «сброс» завершается подготовка системы к работе.

При программном управлении в расчетное время начинается периодический покадровый ввод УП. Полный кадр программы, занимающий 26 строк перфоленды или 10 ячеек машинной памяти, содержит следующий набор стандартных команд управления.

Общие команды для обоих РС:

- режим подготовки аппаратуры — 3 позиции;
- основной режим работы — 4 позиции;
- управление регистрацией — 2 позиции.

Индивидуальные команды для каждого РС:

- тип СП — 4 позиции;
- тип АС — 4 позиции;
- уставка частоты — 5 младших разрядов в двоично-десятичном коде;
- модификации режима — 4 позиции;
- параметры АС — четыре параметра: два 4-позиционных, один 3-позиционный и один 2-позиционный.

В конце кадра дается номер наблюдения, под который отведено 8 двоичных разрядов.

При неизменном режиме работы РС вводится укороченный кадр УП, содержащий только уставки частоты для каждого РС. По окончании ввода такого кадра вырабатывается сигнал ИЧ («изменение частоты»), по которому отработываются заданные уставки частоты.

Управляющая программа поступает в УВУ, где подвергается форматному преобразованию, после чего вся совокупность введенных команд в соответствии с их функциональным назначением распределяется между УУР и УУП. В этих устройствах многопозиционные входные команды реализуются в соответствующие комбинации исполнительных команд и управляющих сигналов, которые передаются по цепям дистанционного управления в исполнительные органы радиоспектрометров.

Наличие системы световой индикации на лицевой панели СПУ-2 позволяет полностью контролировать функциональное состояние РС.

Устройство ввода и управления — УВУ предназначено для автоматического управления вводом, хранением и обработкой «кадровых» команд УП. Оно координирует работу всех функциональных узлов системы с помощью синхронизирующих импульсов и управляющих сигналов и включает в себя привод фотосчитывателя СП-3, преобразователь уровней, форматный преобразователь, входные регистры памяти (ВРП) и узел синхронизации.

При управлении от перфоленды импульс C_n запускает привод фотосчитывателя, и очередной кадр УП вводится в устройство в виде последовательности четырехразрядных кодовых посылок СП-3. В УВУ три информационные посылки СП-3, а в случае управления от ЭВМ — 12 младших разрядов машинного слова преобразуются в одно слово системы. Формируемые из кадра УП слова системы передаются во входные регистры памяти, осуществляющие их последовательный прием и хранение до ввода следующего кадра. Управление вводом информации в ВРП осуществляется импульсами записи C_i ($i=1 \div 26$), которые вырабатываются в узле синхронизации из синхроимпульсов, сопровождающих ввод каждой посылки кадра УП.

По окончании ввода кадра программы все заданные в нем команды импульсами ИР_n или ИЧ одновременно передаются из ВРП в основные регистры памяти (ОРП), входящие в состав УУР и УУП (1, 2), и отработываются.

Формирователь модулирующих импульсов — ФМИ выдает в уровнях ТТЛ две последовательности модулирующих импульсов прямоугольной формы —

МИ1 для РС (1) и МИ2 для РС (2), из которых в УУР и ФСУ формируются управляющие, опорные и контрольные сигналы. С помощью переключателя на лицевой панели СПУ-2 может устанавливаться одна из двух частот модулирующих импульсов, одинаковая для обоих РС: $F_m \sim 25$ Гц, формируемая из частоты промышленной сети, или $F_m^* = 40$ Гц*, которая вырабатывается из сигнала 1 кГц*, поступающего от службы времени РАТАН-600. В последнем случае для ИК-режима имеется возможность устанавливать вручную с помощью переключателя три дискретных значения коэффициента заполнения θ , характеризующего относительное время включения антенны [2]: $\theta_1 = 0.5$, $\theta_2 = 0.6$ и $\theta_3 = 0.8$.

В СПУ-2 предусмотрена также работа с использованием внешних модулирующих импульсов (в уровнях ТТЛ) с произвольной частотой и любым коэффициентом заполнения.

Устройство управления режимами работы — УУР обеспечивает установку заданных режимов работы РС. Коды режимов, поступающие при считывании УП во входные регистры УВУ, по окончании ввода кадра заносятся в основные регистры памяти УУР и хранятся в них до ввода следующего кадра УП (в случае ручного управления команды, набранные тумблерами на лицевой панели блока, заносятся в ОРП нажатием кнопки ИР). Логические преобразователи, стоящие на выходе ОРП, вырабатывают управляющие сигналы, которые обеспечивают установку режимов работы СП и АС, соответствующих заданным позициям команд управления.

В СПУ-2 предусмотрена возможность задания следующих команд для реализации различных режимов работы РС.

Команды режимов подготовки (общие для обоих РС):

- УД — «уровень на детекторе» — автоматическая установка стандартного уровня сигнала на выходе детектора ШК с остановленными модуляторами в положении «антенна»;
- АК — «автокомпенсация» — автоматическая установка квазиулевого режима работы ШК;
- АБ — «автобалансировка» — выдается команда на выполнение балансировки каналов РС (система автобалансировки в состав СПУ-2 не входит).

Команды основных режимов (общие для обоих РС):

- Р — «радиометр» — радиометрический режим работы (без вычитания сигнала сравнения в спектральных каналах фильтровых АС) с остановленными модуляторами в положении «антенна»;
- К — «калибровка» — режим Р с включенным модулированным КГШ;
- С — «спектрометр» — спектрометрический режим работы (с вычитанием сигнала сравнения в спектральных каналах фильтровых АС) с остановленными модуляторами в положении «антенна»;
- КБ — «контроль баланса» — режим С с включенным модулированным БГШ.

Команды модификаций режимов (отдельные для каждого РС):

- М — «модуляция» — модуляционный режим работы «антенна—эквивалент»;
- ИК — «ИК-спектрометр» — режим ИК-спектрометра при модуляционном режиме работы ШК;
- θ — «коэффициент заполнения θ » — режим работы с заданным θ ;
- Э — «эквивалент» — инвертированный режим работы (антенна и эквивалент «меняются местами» путем инвертирования сигналов управления модуляторами).

В случае автономного управления на перфоленте (или вручную тумблером) задается команда РЕГ («регистрация»), при отработке которой включается система регистрации.

Выбором сочетаний основных режимов работы с их различными модификациями вида $[P] \wedge [M]$, $[P] \wedge [IK] \wedge [\theta]$, $[P] \wedge [M] \wedge [Э]$ и т. п. можно видоизменять основные режимы работы для реализации разных методов измерений. При использовании модификации $[IK] \wedge [\theta]$ с помощью переключателя на лицевой панели СПУ-2 устанавливается одно из трех значений коэффициента заполнения для модулирующих импульсов: $\theta_1 = 0.5$, $\theta_2 = 0.6$, $\theta_3 = 0.8$. Во всех других случаях применяется симметричная модуляция ($\theta = 0.5$). В режимах $[K] \wedge [M]$ и $[KB] \wedge [M]$ сигналы КГШ и БГШ не модулируются.

Для РС, на выходе которых имеются фильтры типа стробируемых интеграторов с памятью, предусмотрены режимы периодической калибровки или периодического контроля баланса, задаваемые соответственно сочетаниями команд основных режимов $[P] \wedge [K]$ или $[C] \wedge [KB]$. Тогда включение КГШ (БГШ)

производится управляющими сигналами, которые вырабатываются в УУР с помощью триггера, перебрасываемого из одного состояния в другое импульсами КЦ (2), поступающими из ССД-2 в конце каждого цикла опроса каналов РС (2); длительность цикла для РС (1) при этом должна быть задана такой же, как для РС (2). Период включения КГШ (БГШ) будет равен четырем циклам, когда работают оба РС, или двум, когда работает только один РС (2), а длительность включения соответственно двум или одному циклу. В этом случае, выполняя в ЭВМ операцию синхронного детектирования сигналов с периодичностью включения КГШ (БГШ), можно производить «непрерывную» калибровку (контроль баланса) каналов РС в процессе наблюдений.

Устройство управления параметрами — УУП обеспечивает установку заданных позиций команд управления переключателем СП—АС, параметрами АС и частотой СОЧ. Коды этих команд, так же как в УУР, заносятся в ОРП. Логические преобразователи на выходе ОРП из многопозиционных команд формируют комбинации двухпозиционных сигналов управления, реализующих исполнение заданных команд.

Формирование требуемого типа РС (1, 2) с помощью переключателя СП—АС обеспечивается командами:

$$\begin{aligned} \text{СП}(1, 2) &= [\text{СП}_1] \vee [\text{СП}_2] \vee [\text{СП}_3] \vee [\text{СП}_4]; \\ \text{АС}(1, 2) &= [\text{АС}_1] \vee [\text{АС}_2] \vee [\text{АС}_3] \vee [\text{АС}_4], \end{aligned}$$

где СП₁—СП₄ и АС₁—АС₄ — условные обозначения четырех типов СП и АС.

Для управления четырьмя различными параметрами АС (1, 2) служат следующие команды:

$$\begin{aligned} \text{П}_1(1, 2) &= [\text{П}_{11}] \vee [\text{П}_{12}] \vee [\text{П}_{13}] \vee [\text{П}_{14}]; \\ \text{П}_2(1, 2) &= [\text{П}_{21}] \vee [\text{П}_{22}] \vee [\text{П}_{23}] \vee [\text{П}_{24}]; \\ \text{П}_3(1, 2) &= [\text{П}_{31}] \vee [\text{П}_{32}] \vee [\text{П}_{33}]; \\ \text{П}_4(1, 2) &= [\text{П}_{41}] \vee [\text{П}_{42}]. \end{aligned}$$

Запись П_{mn} означает: m — условный номер параметра, n — порядковый номер его дискретного значения.

В анализаторах разных типов одни и те же команды могут управлять различными параметрами. В случае АС фильтрового типа управляемыми параметрами являются: П_1 и П_2 — коэффициенты усиления выходных устройств радиометрических и спектральных каналов, П_3 и П_4 — тип и параметр выходных фильтров соответственно.

Программное управление частотой синтезатора типа Ч6-31 (СОЧ) задается пятью младшими разрядами уставки опорной частоты в параллельно-последовательном двоично-десятичном коде. На выходе ОРП этот код дешифруется в позиционный десятичный, из которого с помощью согласующих транзисторных ключей формируются сигналы управления частотой в следующих пяти декадах Ч6-31: единицы, десятки, сотни герц, единицы, десятки килогерц. Все изменения опорной частоты, обусловленные лучевыми скоростями межзвездного газа в Галактике, а также движениями Солнца и Земли, не выходят за пределы этих декад. Расчетные значения старших разрядов уставки опорной частоты (сотни килогерц—десятки мегагерц) перед наблюдениями конкретной спектральной линии набираются оператором вручную с помощью кнопочного переключателя на панели Ч6-31 и изменяются при переходе к наблюдениям другой спектральной линии.

Формирователь сигналов управления — ФСУ содержит усилители — ограничители пяти разновидностей, два узла авторегулирования, логические и релейные элементы. Входными сигналами ФСУ являются модулирующие импульсы, поступающие от ФМИ, управляющие сигналы, вырабатываемые в УУР, и выходной сигнал широкополосного канала ($U_{\text{мк}}$) радиоспектрометра.

С помощью логических элементов в ФСУ из «однофазных» модулирующих импульсов МИ вырабатываются «парафазные» импульсы $\overline{\text{МИ}}$ и $\overline{\overline{\text{МИ}}}$, из которых с помощью усилителей-ограничителей формируются пять типов однополярных

и двухполярных импульсных сигналов для управления режимами работы АС. Эти сигналы передаются в АС и выполняют следующие функции:

- управляют работой синхронных детекторов во всех каналах (два сигнала — \overline{MI} и \overline{MI});
- используются в качестве опорных сигналов при ИК-методе измерений;
- служат для импульсного заширения приемного тракта и каналов АС при выполнении подготовительных операций, ИК-методе измерений и контроле аппаратуры;
- используются в качестве контрольных сигналов для проверки работы выходных устройств фильтровых АС; размах и «фаза» (\overline{MI} или \overline{MI}) устанавливаются переключателями на лицевой панели блока.

Два узла астатического авторегулирования позволяют устанавливать стандартный уровень сигнала (0.2В.) на выходе детектора ШК (узел АРУ) и компенсировать (выравнивать) сигналы «антенны» и «эквивалента» (узел АРК). В каждом узле авторегулирования сигнал обратной связи (сигнал ошибки), поступающий с выходного устройства ШК ($U_{шк}$), подается на усилитель-ограничитель, который питает электропривод проволочного потенциометра. С подвижного контакта потенциометра снимается сигнал для управления коэффициентом усиления ШК. В качестве электропривода используются электродвигатели с редуктором типа ИДР-6.

Узлы АРУ и АРК включаются и выключаются командными сигналами, поступающими из УУР, и реализуют соответственно команды УД и АК при выполнении программы подготовки к наблюдениям. Кроме того, электроприводы потенциометров могут управляться вручную кнопками.

При включении узла АРУ широкополосный канал РС работает в ИК-режиме, при котором производится периодическое (с частотой F_m) сравнение уровня сигнала на выходе детектора ШК с опорными импульсными сигналами стандартного уровня 0.2 В. Сигнал ошибки с выходного устройства ШК подается в узел АРУ. На выходе этого узла вырабатывается регулируемое постоянное напряжение, которое изменяет коэффициент усиления ШК и тем самым уменьшает сигнал ошибки до предельной величины, определяемой зоной нечувствительности узла АРУ.

При включении узла АРК сигнал ошибки определяется разностью сигналов «антенны» и «эквивалента» на выходе детектора ШК. С выходного устройства ШК сигнал ошибки поступает в узел АРК. На выходе этого узла из «парафазных» импульсов \overline{MI} и \overline{MI} вырабатывается регулируемое импульсное напряжение, которое изменяет коэффициент усиления ШК только в те интервалы периода модуляции, когда детектируется сигнал «эквивалента». В результате изменения глубины модуляции коэффициента усиления ШК сигнал ошибки в процессе авторегулирования обрабатывается до предельной величины, определяемой зоной нечувствительности узла АРК.

Остаточная ошибка узлов авторегулирования не превышает трех шумовых «дорожек» на выходе ШК при постоянной времени выходного RC -фильтра ~ 1 с. Время обработки не более 20 с.

При выключении того или иного узла разрывается его петля обратной связи и одновременно с помощью электромагнитного тормоза фиксируется положение подвижного контакта потенциометра.

Система сбора данных — ССД-2 осуществляет следующие основные функции:

- формирует циклы опроса каналов служебной информации и каналов АС с привязкой начала циклов к шкале звездного времени;
- преобразует аналоговые сигналы, поступающие с коммутаторов каналов АС, в 10-разрядный двоичный код;
- ведет счет числа файлов (массивов данных с неизменным режимом работы РС) и разделяет файлы друг от друга одним циклом нулевых отсчетов (признак изменения режима работы);
- передает данные каждого цикла в систему регистрации [6] и в устройство отображения информации (УОИ [1]);
- синхронизирует работу СПУ-2.

На рис. 4 приведена упрощенная блок-схема ССД-2, на которой штриховыми линиями изображены устройства, применявшиеся ранее в ССД-1 [1]. В систему поступают следующие сигналы:

- импульсы звездных минут («мин*»), секунд («с*») и сигнал звездной частоты 1 кГц* — от службы времени РАТАН-600;
- импульсы конца цикла КЦ (1) и КЦ (2) — соответственно с коммутаторов каналов АС (1) и АС (2);
- коды номера наблюдения, режима работы и периодов дискретизации сигналов в каналах АС (1) и АС (2), а также исполнительные команды на включение системы регистрации РУ и изменение режима работы ИР_{прогр} — от СПУ-2;
- измеряемые аналоговые сигналы $U_{\text{вых}}$ (1) и $U_{\text{вых}}$ (2) — с коммутаторов каналов АС (1) и АС (2).

Включение системы производится тумблером «пуск по мин», после чего с приходом очередного импульса «мин*» в формирователь циклов считывания (ФЦС) начинает поступать сигнал 1 кГц*, из которого получаются три последовательности импульсов НЦ («начало цикла») с периодами следования $T_{\text{нц1}} = 0.125 \text{ с}$, $T_{\text{нц2}} = 0.5 \text{ с}$, $T_{\text{нц3}} = 3 \text{ с}$. Эти импульсы служат для синхронизации и привязки к шкале звездного времени начала циклов считывания данных с тремя различными периодами дискретизации, соответствующих трем значениям постоянных времени выходных RC-фильтров в каналах АС: $\tau_1 = 0.25 \text{ с}$, $\tau_2 = 1 \text{ с}$, $\tau_3 = 6 \text{ с}$.

С вводом в СПУ-2 управляющей программы по местным цепям управления от СПУ-2 в ССД-2 передаются коды номера наблюдения, режима работы и периодов дискретизации аналоговых сигналов в каналах РС (1) и РС (2). Эти данные поступают в селектор каналов служебной информации (СКСИ). Трехпозиционные коды периодов дискретизации

$$T(1, 2) = [T_1] \vee [T_2] \vee [T_3]$$

вводятся также в ФЦС и определяют для каждого РС свой период следования импульсов НЦ. С заданной периодичностью $T(1)$ и $T(2)$ в ФЦС вырабатываются строб-импульсы $T_d(1)$ и $T_d(2)$, передние фронты которых синхронизированы соответственно импульсами НЦ (1) и НЦ (2), а задние — импульсами КЦ (1) и КЦ (2), приходящими с коммутаторов каналов АС (1) и АС (2).

Передним фронтом строб-импульса $T_d(1)$ в распределителе сигналов цикла (РСЦ) формируется первый в данном цикле импульс ЗП («запуск преобразователя»), которым подключается первый из опрашиваемых в этом цикле каналов СКСИ и осуществляется запуск аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Опрос каждого последующего канала СКСИ и затем поочередно всех каналов АС (1) (переключение коммутатора и преобразование подключенного сигнала в АЦП) производится импульсами ЗП, которые формируются из поступающих от АЦП импульсов КП («конец преобразования»). Импульсами КП синхронизируется также вывод кодов в систему регистрации и в устройство отображения информации через выходной интерфейс. По концу строб-импульса $T_d(1)$ опрос каналов АС (1) прекращается до прихода следующего $T_d(1)$. Аналогичным образом осуществляется опрос каналов СКСИ и АС (2) в цикле, запускаемом строб-импульсом $T_d(2)$.

В случае работы двух РС при совпадении импульсов НЦ (1) и НЦ (2) в ФЦС вырабатывается строб-импульс $T_d(1)$ и по его окончании — $T_d(2)$, т. е. приоритет имеет РС (1).

Во взаимодействии РСЦ и АЦП используется принцип их самосинхронизации импульсами ЗП \geq КП внутри цикла, что позволяет получить высокую скорость опроса каналов, которая в основном определяется быстродействием АЦП. При использовании АЦП типа Ч222 (время преобразования 10 мкс) в ССД-2 реализована плотность потока информации $\sim 10^4$ десятиразрядных слов в секунду.

Считывание служебной информации в СКСИ начинается в каждом цикле с кода маркера начала цикла (МНЦ), за которым следуют коды номера наблюдения (№ наб.), номера регистрируемого файла, режима работы РС, периода дискретизации сигналов АС и моменты времени дискретизации (часы, минуты,

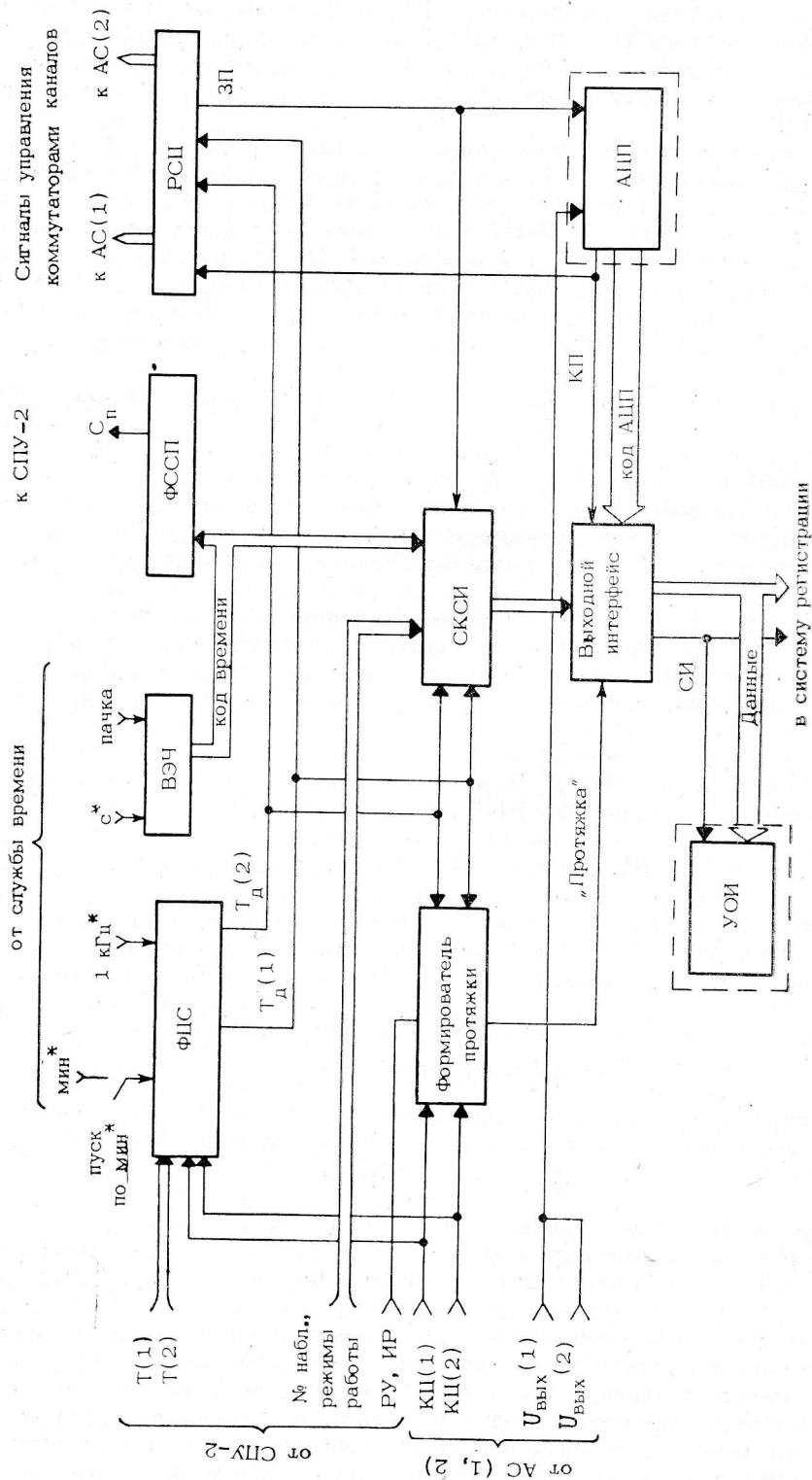


Рис. 4. Функциональная схема системы сбора данных ССД-2.

ФЦС — формирователь циклов считывания; ВЭЧ — вторичные электронные часы; ФССП — формирователь сигналов считывания программы; РСЦ — распределитель сигналов цикла; СКСИ — селектор каналов служебной информации; УОИ — устройство отображения информации; АЦП — аналого-цифровой преобразователь.

секунды). Коды МНЦ для каждого РС постоянно хранятся в СКСИ, код номера наблюдения передается из СПУ-2 и запоминается в регистре СКСИ, код регистрируемого файла формируется в счетчике файлов, который входит в состав СКСИ и срабатывает по сигналам $ИР_n$ ($ИР_d$), коды режимов работы и периода дискретизации поступают из СПУ-2, код момента времени дискретизации считывается со вторичных часов (ВЭЧ [1]). Выбор кодов, соответствующих опрашиваемому РС, осуществляется строб-импульсами T_d (1, 2), поступающими в СКСИ из ФЦС.

В качестве признака изменения режима работы РС принята «протяжка» — один цикл нулевых отсчетов, следующий после исполнения команды $ИР_n$ ($ИР_d$). Выдачу такого цикла в систему регистрации обеспечивает формирователь «протяжки» (ФП) по сигналу $ИР_n$ ($ИР_d$) с использованием строб-импульсов T_d (1) или T_d (2) и соответствующих им импульсов КЦ (1) или КЦ (2).

В формирователе сигналов считывания программы (ФССП) из кодов времени ВЭЧ каждые 30 с* вырабатывается импульсный сигнал C_n , который используется для запуска фотосчитывающего устройства при вводе программы в СПУ-2 с перфоленты.

В начале каждого периода дискретизации в РСЦ вырабатываются два импульсных сигнала для управления стробируемыми линейными интеграторами в каналах выходных устройств АС: ИЗ (1, 2) — «импульс записи» сигналов, проинтегрированных за предшествующий период дискретизации, в ячейки аналоговой памяти и ИС (1, 2) — «импульс сброса» интеграторов. Эти импульсы, следующие друг за другом, формируются передним фронтом строб-импульса T_d (1, 2), поэтому моменты их появления фиксированы относительно начала цикла.

Управляющие программы. Для подготовки аппаратуры к работе и проведения наблюдений используются стандартные программы подготовки (СПП), не требующие цифровой регистрации, и стандартные программы наблюдений (СПН), при выполнении которых выходные данные передаются в систему регистрации.

СПП определяет временную последовательность задания необходимых параметров и режимов работы РС (1, 2), включая отработку систем автоматического регулирования, и обеспечивает автоматическую установку стандартного уровня напряжения на выходе детектора ШК и автоматическую установку квазиулевого режима работы ШК перед наблюдениями. Эти операции, являющиеся общими для РС любого типа, выполняются с помощью СПУ-2. Кроме того, для РС с анализаторами фильтрового типа предусмотрена выдача управляющего сигнала по команде АБ на включение системы автоматической балансировки спектральных каналов, которая в состав СПУ-2 не входит (разработана в системе КАМАК).

Команды на режимы подготовки в СПП задаются в следующей очередности:

[УД] → [АК] → [АБ].

Для двухрупорной приемной системы может использоваться вариант СПП, в котором все основные режимы подготовки задаются с модификацией Э:

([УД] → [АК] → [АБ]) ∧ [Э].

В этом случае «рабочим» рупором становится рупор-эквивалент.

СПН определяет временную последовательность задания режимов работы и параметров РС (1, 2) в процессе наблюдения. Она определяет также последовательность задания уставок опорной частоты СОЧ (1, 2) и моменты включения и выключения системы регистрации. Для основного режима наблюдений — с неподвижной диаграммой направленности радиотелескопа сохранена структура СПН, принятая ранее в СПУ-1 [1]. В этом случае СПН включает в себя 13 последовательно сменяющих друг друга участков измерений (файлов) с определенным чередованием четырех основных режимов работы в сочетании с их модификациями, соответствующими выбранной методике измерений.

Для наблюдений в дециметровом диапазоне волн с высоким уровнем импульсных помех используется вариант СПН со следующим чередованием режимов:

$$[P] \rightarrow [K] \rightarrow [P] \rightarrow [C] \rightarrow [KB] \rightarrow [C] \rightarrow [C] \wedge [M] \rightarrow [C] \rightarrow [KB] \rightarrow [C] \rightarrow [P] \rightarrow [K] \rightarrow [P].$$

Файлы 1, 3, 11, 13 служат для регистрации «нулевого» уровня во всех каналах РС (1, 2), файлы 2 и 12 — для регистрации калибровочной «ступеньки» на калибровочных участках 1—2—3 и 11—12—13. Участки 4—5—6 и 8—9—10 являются контрольными и служат для контроля баланса каналов радиоспектрометров с фильтровыми АС: файлы 4, 6, 8, 10 служат для регистрации «нулевых» уровней в спектральных каналах, а файлы 5 и 9 — для регистрации сигнала разбаланса, вызванного включением БГШ. Рабочий участок измерений — файл 7, в котором производятся наблюдения исследуемого объекта, выполняется в спектрометрическом режиме с модуляцией — $[C] \wedge [M]$.

Выполнение измерений на контрольно-калибровочных участках с остановленными модуляторами и с модулированными калибровочным и балансировочным сигналами существенно ослабляет влияние импульсных помех.

В тех случаях, когда предпочтительнее выполнять контрольно-калибровочные измерения в модуляционном режиме, применяется вариант СПН с модификацией М на всех участках:

$$[P] \rightarrow [K] \rightarrow [P] \rightarrow [C] \rightarrow [KB] \rightarrow [C] \rightarrow [C] \rightarrow [C] \rightarrow [KB] \rightarrow [C] \rightarrow [P] \rightarrow [K] \rightarrow [P] \wedge [M].$$

Для наблюдений в режиме импульсно-компенсационного радиоспектрометра используется вариант СПН, в котором все основные режимы работы выполняются с модификацией $[M] \wedge [IK] \wedge [\theta]$ с работающими модуляторами либо с модификацией $[IK] \wedge [\theta]$ с остановленными модуляторами на контрольно-калибровочных участках измерений.

Для наблюдений с сопровождением исследуемого объекта могут использоваться управляющие программы с режимами периодической калибровки и периодического контроля баланса. На опорной области неба и затем при сопровождении объекта соответствующие режимы работы задаются командами $[P] \wedge [K] \wedge [M] \rightarrow [C] \wedge [KB] \wedge [M]$. Эти режимы позволяют выполнять «непрерывную» калибровку и коррекцию за разбаланс каналов в процессе наблюдения.

Для двухрупорной приемной системы все перечисленные выше варианты СПН могут выполняться с модификацией $[\Theta]$ во всех режимах. При этом «рабочим» рупором становится рупор-эквивалент.

Заключение. По сравнению с первой версией (СПУ-1) аппаратура программного управления двумя радиоспектрометрами обладает теми преимуществами, что в ней:

- полностью автоматизирован процесс подготовки РС (1, 2) к наблюдению;
- обеспечено более точное и в больших пределах сопровождение по частоте;
- заложена возможность проведения наблюдения одновременно на двух длинах волн;
- предусмотрен ряд модификаций основных режимов работы, позволяющих реализовать различные методы спектральных измерений.

Разумное разделение функций по управлению спектрометрической аппаратурой в ходе наблюдения между СПУ-2 и микро-ЭВМ «МЕРА-60» позволило существенно разгрузить программное обеспечение машины, что очень важно при проведении эксперимента в реальном времени. Большой труд по созданию программного обеспечения для СПУ-2 взял на себя И. В. Госачинский. Результаты его работы представлены в виде отдельного технического отчета и отражены в статье [10].

Аппаратура программного управления находится в постоянной эксплуатации с апреля 1984 г. За это время с ее помощью было проведено более полутора тысяч наблюдений. Длительное использование СПУ-2 и ССД-2 показало их хорошие эксплуатационные характеристики — 3, 5 % потерь наблюдений, отнесенных к СПУ-2 и ССД-2, в большинстве своем связаны с отказами периферии и сбоями по питанию самой микро-ЭВМ «МЕРА-60».

В заключение авторы благодарят С. Р. Желенкова, Н. П. Комара за большую помощь и содействие при внедрении аппаратуры на 2-м облучателе, В. Г. Грачева за полезные советы и обсуждения, а Н. С. Евграфова и А. И. Кутилова — за монтажные и механосборочные работы.

Литература

1. Программно-управляемый спектрометр на волну 21 см / А. П. Венгер, В. Г. Грачев, Т. М. Егорова и др. САО АН СССР, 1978.
2. Грачев В. Г., Рыжков Н. Ф. Чувствительность радиометра и метод импульсной компенсации. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 12, с. 68—76.
3. Грачев В. Г., Рыжков Н. Ф. Импульсно-компенсационный радиоспектрометр. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1981, 13, с. 43—51.
4. Радиометрический приемник дециметрового диапазона с малошумящим охлаждаемым транзисторным усилителем на входе / А. П. Венгер, Л. Г. Гассанов, Ю. Д. Гудзь и др. — В кн.: XIV Всесоюз. радиоастрон. конф. по аппаратуре, антеннам и методам. Тез. докл. Ереван, 1982, с. 109.
5. Радиоспектрометр с шумовым пилот-сигналом и импульсной компенсацией / А. П. Венгер, В. Г. Грачев, Г. Н. Ильин и др. — Там же, с. 149.
6. Желенков С. Р. Автономная система регистрации данных спектрометров радиотелескопа РАТАН-600 на базе микро-ЭВМ «Электроника-60». — Там же, с. 152.
7. Грачев В. Г. 100-канальный кварцевый фильтровой анализатор спектра. — В кн.: XI Всесоюз. радиоастрон. конф. по аппаратуре, антеннам и методам. Тез. докл. Ереван, 1978, с. 48—49.
8. Желенков С. Р., Комар Н. П., Рыжков Н. Ф. 128-канальный цифровой знаковый корреляционный анализатор спектра. — В кн.: XVII Всесоюз. конф. по радиоастрон. аппаратуре. Тез. докл. Ереван, 1985, с. 85.
9. Акустооптический спектрометр для радиотелескопа РАТАН-600 / Н. А. Есепкина, Ю. А. Котов, В. Ю. Петрунькин и др. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 12, с. 88—93.
10. Система программного обеспечения для управления и сбора данных радиоспектрометрического комплекса РАТАН-600 / З. А. Алферова, И. В. Госачинский и др. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1965, 23, с. 89—97.

Поступила в редакцию 27.10.85