

СОВЕТ "ИНТЕРКОСМОС" ПРИ АН СССР  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН СССР  
ОДЕССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ МВ и ССО УССР

# НАУЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ВЫПУСК 4

Приборы для исследования плазмы  
и электромагнитных полей



МОСКВА  
"МЕТАЛЛУРГИЯ"  
1985

А. Варга, Й. Виндберг, Т. Гомбоши, Й. Кечкемети, Т. Ковач,  
Д. Козма, Л. Лохоняи, Л. Сабо, А. Сепешвари,  
И. Сюч, М. Фараго, А. Шомоди, А. Банфальви,  
Р. Редл, К.И. Грингауз, А.П. Ремизов, Г.А. Скуридин,  
И.Н. Клименко, Г.А. Владимирова, Ю.И. Логачев,  
В.Г. Столповский

**ЭНЕРГО-МАСС-СПЕКТРОМЕТР ИОНОВ  
В ДИАПАЗОНЕ 20 кэВ–13 МэВ  
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА "ВЕГА"**

Основное назначение прибора ТЮНДЕ-М состоит в обнаружении и измерении энергии тяжелых ионов, получивших ускорение в области кометы Галлея, а также в определении потока ионов в различных точках околокометного пространства.

Известно несколько механизмов, объясняющих процесс ускорения тяжелых ионов в окрестности комет. Они совпадают в том, что поток нейтральных газов, испускаемый кометой со скоростью порядка нескольких километров в секунду, ионизируется под влиянием ультрафиолетового излучения Солнца, а также из-за непосредственных столкновений с частицами плазмы солнечного ветра. Образовавшиеся таким образом тяжелые ионы кометного происхождения могут получить ускорение либо под влиянием движущегося магнитного поля солнечного ветра, либо под действием ударного фронта, являющегося результатом взаимодействия кометной плазмы с солнечным ветром, либо вследствие магнитных процессов, происходящих в хвосте кометы (например, пересоединения магнитных силовых линий). По теоретическим расчетам тяжелые кометные ионы при этом могут приобретать энергии до нескольких сотен килоэлектронвольт.

Для получения дополнительной информации об угловом распределении ускоренных ионов в приборе "ТЮНДЕ-М" имеются две независимые системы детекторов (два телескопа). В результате ускорения ионов кометного происхождения в солнечном ветре наиболее вероятное направление потока быстрых ионов в первом приближении перпендикулярно к магнитным силовым линиям и колеблется около плоскости эклиптики. Поскольку один из телескопов смотрит в направлении ожидаемого максимума частиц, т.е. в плоскости эклиптики перпендикулярно силовым линиям, а второй — в той же плоскости под углом  $35^\circ$  к первому, направление второго телескопа противоположно вектору скорости космического аппарата (КА).

Второе назначение прибора "ТЮНДЕ-М" — постоянная регистрация уровня солнечной активности на протяжении всего полета. С целью регистрации уровня солнечной активности постоянно регистрируются потоки ионов в диапазоне энергий 20–650 кэВ, протонов с энергией 3–13 МэВ, других ядер с энергией 3–13 МэВ/нуклон, ядер, энергия которых превы-

шает 13 МэВ/нуклон. Таким образом, это дает возможность определить зависимость интенсивности фоновых ионов с энергией 20–650 кэВ от солнечной активности, что крайне необходимо для интерпретации пиков интенсивности ионов в околокометной области. Регистрация уровня солнечной активности важна также для проверки работы других, расположенных на объекте детекторов частиц ("ПЛАЗМАГ", ИНГ и т.д.). Кроме того, постоянная регистрация потоков частиц в указанных диапазонах энергий содержит немаловажную информацию о дозе радиации, полученной объектом на трассе.

Дальнейшее назначение прибора "ТЮНДЕ-М" состоит в измерении энергетического спектра, а также изменений во времени интенсивности

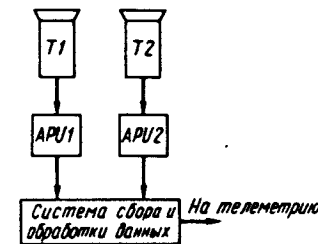


Рис. 1. Структурная схема прибора:

T1 — телескоп 1; T2 — телескоп 2;  
APU1 — блок аналоговой обработки 1;  
APU2 — блок аналоговой обработки 2

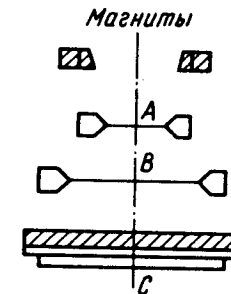


Рис. 2. Схема расположения детекторов в телескопе (Т)

ионов и ядер, ускоренных на Солнце в результате солнечных событий, встречающихся за 1,5 года полета КА. Это дает возможность глубже изучать распространение частиц в межпланетном пространстве, а в итоге — динамическое взаимодействие ионов высоких энергий с межпланетными магнитными полями.

Прибор "ТЮНДЕ-М" (рис. 1) состоит из: телескопов (T1, T2), узлов аналоговой обработки (APU1, APU2), блока цифровой электроники (DAPS) и вторичных источников питания (PSU).

Прибор выполнен в виде моноблока. Его важнейшие технические данные: габаритные размеры 150 x 210 x 150 мм; масса — 4,9 кг; потребляемая мощность — 5,5 Вт; диапазон измерения энергии ионов 20–650 кэВ\*; формат данных с плавающей запятой 11 бит и 1 бит четности; информативность 3072 или 65536 бит/с; угол между телескопами  $35^\circ$ .

**Телескопы и аналоговая электроника.** Телескопы T1 и T2 (рис. 2) имеют идентичное геометрическое построение. В них входят полупроводниковые детекторы А и В, диаметр и толщина которых соответственно

\*Распределение спектра ионов до 20 кэВ производится прибором "ПЛАЗМАГ", представляющим собой вторую часть комплекса СПФ.

равны 10 мм, 100 мкм и 15 мм, 1000 мкм и детектор антисовпадения С на базе сцинтиллятора с МКП (микрочанальная платина). В случае измерения энергии тяжелых ионов работает только детектор А, в то время, как при определении сорта частиц детекторы А и В образуют систему  $\Delta E/E$ . Геометрический фактор телескопов составляет  $\sim 0,2 \text{ см}^2 \cdot \text{ср}$ . Задачей магнита является фильтрация электронов с энергией  $< 0,5 \text{ МэВ}$ .

Блок-схема аналоговой обработки сигналов показана на рис. 3. Сигнал с детектора проходит тракт: зарядочувствительный предусилитель — усилитель — формирователь (применены методы компенсации полюса

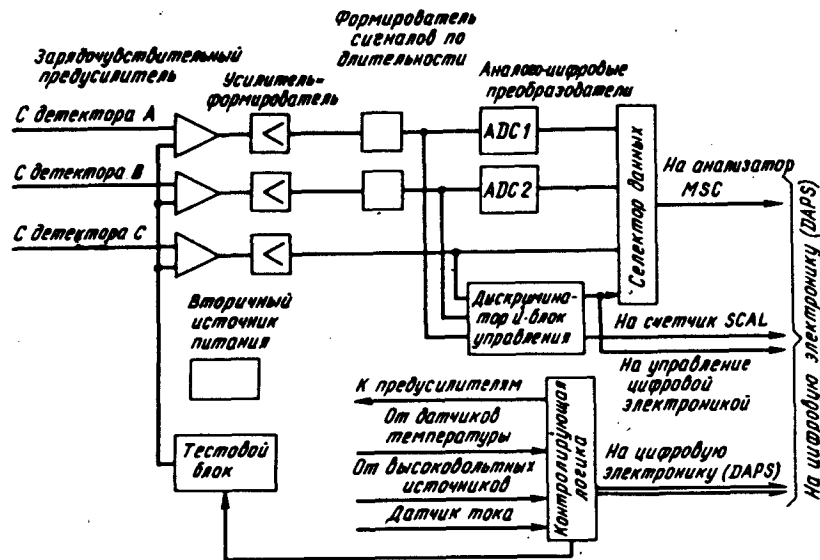


Рис. 3. Блок-схема узла аналоговой обработки (APU)

нулем, активного формирования сигналов квазигауссовской формы и восстановления базового уровня) — формирователь сигналов по длительности. Выходные сигналы последнего подаются на входы 6-разрядного быстродействующего АЦП амплитудных дискриминаторов и блока управления. Выходы дискриминаторов подключены к входам SCAL — 8-канального 32-разрядного счетчика (по 4 входа на каждый телескоп), а блок управления определяет режим работы анализатора (ABC; ABC; ABC). В случае измерения энергии селектором данных принимается информация с ADC1, а в режиме регистрации частиц — информация с обоих ADC. Селектор данных, кроме того, производит сжатие полученной информации до 6 двоичных разрядов с помощью ППЗУ, запрограммированного в соответствии с требуемыми энергетическими уровнями и разрешением. Блок-схема цифровой электроники (DAPS) (рис. 4). Цифровой частью

прибора производится регистрация и анализ событий, передача данных в форме с плавающей запятой к телеметрическим системам объекта. Здесь же реализуется связь с бортовыми системами объекта.

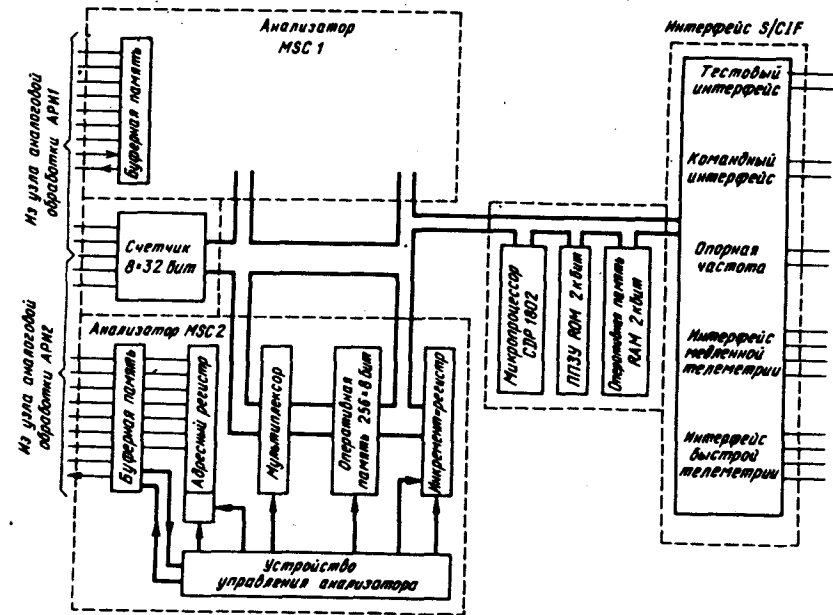


Рис. 4. Блок-схема цифровой электроники (DAPS)

Функции управления и проверки, обработки данных измерения, а также прием сигналов управления из бортовых систем осуществляется с помощью микропроцессора. Информация с каждого телескопа регистрируется 64-канальным анализатором и 4-канальным счетчиком (SCAL). Все каналы 32-разрядные.

Данные, регистрируемые в 8-канальном 32-разрядном счетчике (SCAL), служат прежде всего для проверки работы детекторов, но в определенных условиях они могут использоваться также в целях получения ограниченной физической информации.

Как анализатор, так и счетчики работают автономно, т.е. регистрируют события независимо от работы микропроцессора. По истечении времени интегрирования микропроцессор останавливает анализатор и счетчики, считывает из них данные, устанавливает исходное положение и снова запускает цикл накопления. "Мертвое" время между двумя циклами одинаково во всех каналах и для всех режимов работы.

Кроме того, в круг задач микропроцессора входит: изменять разрешение спектров, а также время интегрирования, так

как во время полета в зависимости от режима работы количество передаваемой на телеметрию информации меняется;

ежедневно проводить проверку работы функциональных блоков прибора, результаты которой нужно передать на Землю;

по командам, полученным с Земли, произвести требуемые изменения в программе работы прибора;

с целью более эффективного использования телеметрических каналов проводить преобразование данных из формы 32-разрядных чисел с фиксированной запятой с плавающей запятой (11 бит + 1 бит четности);

для передачи данных в телеметрию организовать массивы с соответствующими идентификаторами и переслать их через интерфейс телеметрии;

технологические данные, поступающие из аналоговых узлов прибора от датчиков температуры, напряжений питания и т.п., передавать наряду с научными данными по цифровым телеметрическим каналам.

Для решения перечисленных задач был выбран микропроцессор 1802 фирмы RCA, характеризующийся высокой надежностью и малым потреблением энергии; Программы хранятся в ППЗУ емкостью 2К; объем оперативной памяти также 2К. Прибор связан с бортовыми системами посредством интерфейса S/CIF, через который научные данные могут быть переданы на телеметрические каналы 3072 бит/с и 64 кбит/с. Этот же интерфейс принимает команды и метки, поступающие из бортовых систем.

Предъявляемые к прибору требования по надежности очень высоки, так как он будет работать в условиях открытого космоса в течение 440 дней. По предварительному анализу наиболее критичный узел в приборе — запоминающее устройство (ЗУ). Для повышения надежности как в анализаторах (MSC), так и в памяти микропроцессора осуществлено тройное резервирование ЗУ с соответствующей мажоритарной логикой для коррекции ошибок. С этой же целью информация с отдельных телескопов регистрируется отдельными каналами, работающими автономно, независимо друг от друга, поэтому частичный или полный отказ одной ветки (телескопа) не нарушает работы другой, способной давать ценную научную информацию.