

УДК 629.196.63

В. Л. МАДУЕВ, Б. М. МАХМУДОВ, Н. Ф. ПИСАРЕНКО

## ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ВЫСОТАХ 200—400 км

В статье описан прибор, основанный на современных методах измерения радиации, приведены схемы регистрации, описана методика градуировки.

Исследования в области космических лучей и радиационных поясов Земли, начатые в 1960 г. и выполнявшиеся на космических кораблях-спутниках, продолжают на спутниках серии «Космос». В этих исследованиях дается анализ радиационной обстановки на малых высотах, в том числе исследуются зависимости распределения первичного космического излучения (ПКИ) от цикла солнечной активности, исследуется высыпание частиц из радиационных поясов, изучается район Бразильской магнитной аномалии и проводятся систематические дозиметрические измерения. Для проведения этих измерений используются различные методики: спектрометрия протонов при помощи сцинтилляционных детекторов, ионизационные камеры, магнитный анализ электронов и т. д.

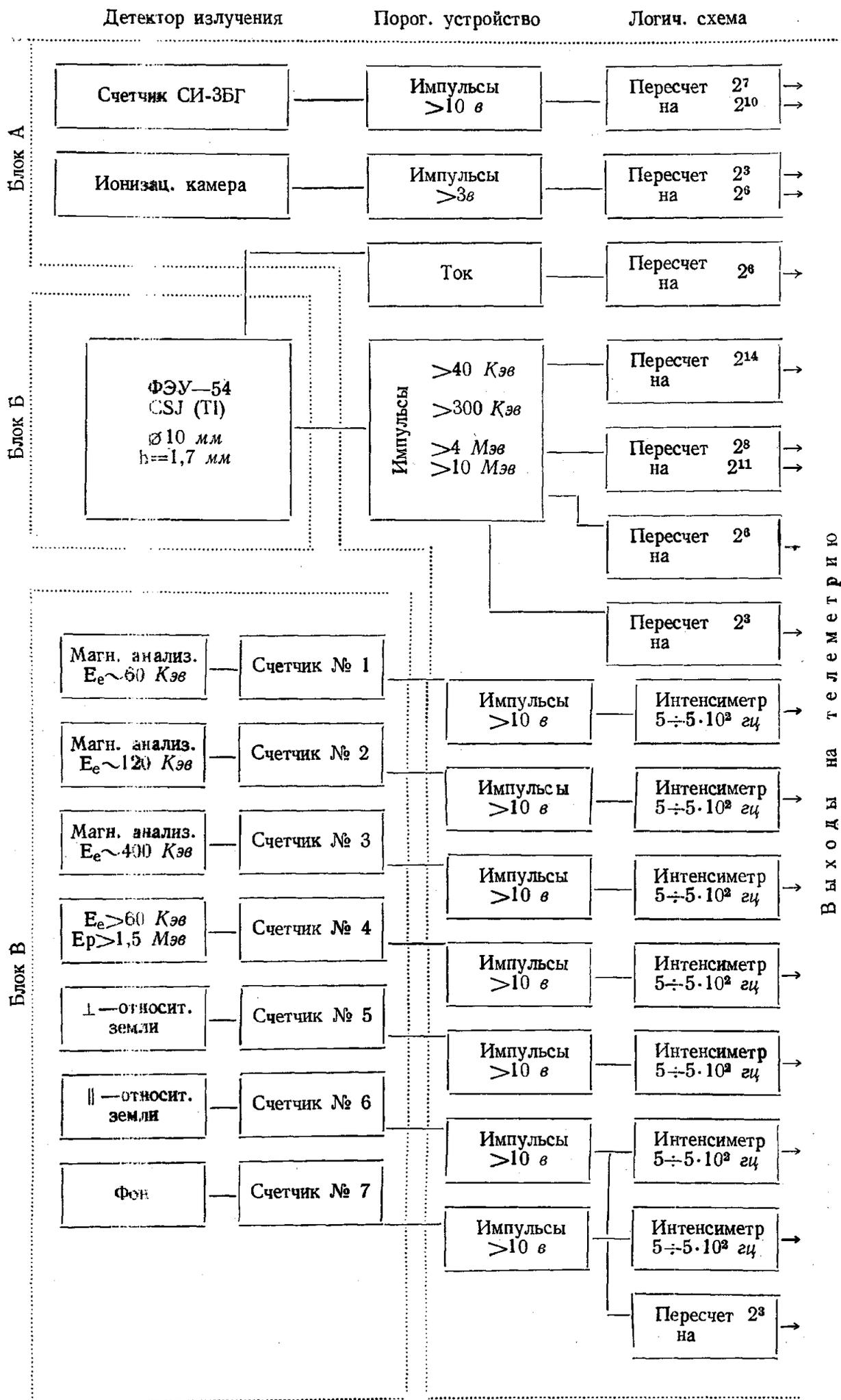
Использованная радиометрическая аппаратура РГ-1 предназначена для выполнения исследований на высотах 200—400 км.

С помощью радиометра РГ-1 проводились следующие измерения: исследование распределения поглощенных доз с помощью тканеэквивалентной ионизационной камеры, исследование энергетического спектра протонов в области энергии от 0,5 до 10 Мэв и анализ энергетического спектра электронов в области энергии от 60 до 500 Кэв.

Конструктивно прибор РГ-1 состоит из трех блоков: два блока детекторов радиации (Б, В) и блок электроники (А) (см. схему).

Блок А содержит тканеэквивалентную ионизационную камеру для измерения поглощенной дозы и мощности дозы, а также гейгеровский счетчик СИ-ЗБГ для измерения потока заряженных частиц. Анализ показаний этих двух датчиков дает возможность определять среднюю удельную ионизацию регистрируемого излучения и, следовательно, определять природу регистрируемого излучения и оценивать коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ).

Квазипостоянный электрический ток ионизационной камеры при помощи электростатического реле [1] преобразуется в последовательность импульсов. Один импульс соответствует дозе, равной 3 мрад. Мини-



Блок-схема универсального рдиометра

мальная мощность дозы, измеряемая такой камерой, составляет  $0,3 \text{ мрад/час}$ . Это позволяет измерять дозу, обусловленную потоком ПКИ в околоземном космическом пространстве. Импульсы с камеры поступают на согласующую и формирующую плату камеры. Сформированные положительные импульсы амплитудой  $3,5 \text{ в}$  поступают на двоичную пересчетную схему, состоящую из шести триггеров с сумматорами [2]. Полная емкость двоичной пересчетной схемы равна  $2^6$ , следовательно, максимальная доза между двумя последовательными опросами равна  $200 \text{ мрад}$ .

Газоразрядный счетчик СИ-ЗБГ регистрирует заряженную частицу, прошедшую через его рабочий объем, и с некоторой эффективностью  $\gamma$ -излучение и тормозное рентгеновское излучение. При облучении счетчика в наземных условиях радиоактивным источником  $\text{Ra}^{226}$  один импульс от счетчика соответствует дозе  $\approx 0,5 \text{ мрад}$ . Полная емкость двоичной пересчетной схемы после счетчика СИ-ЗБГ равна  $2^9$ , что соответствует дозе  $256 \text{ мрад}$  между двумя последовательными опросами.

Блок Б содержит сцинтилляционный счетчик, состоящий из фотоэлектронного умножителя ФЭУ-54 и кристалла  $\text{CSJ(Tl)}$  диаметром  $12 \text{ мм}$ , толщиной  $1,7 \text{ мм}$ . Со стороны окна кристалл закрыт алюминиевой фольгой толщиной  $10 \pm 2 \text{ мк}$ . Окно ограничивает конический коллиматор высотой  $10 \text{ мм}$  и диаметром  $10 \text{ мм}$  со стороны, прилегающей к кристаллу. Угол раствора конуса коллиматора  $60^\circ$ . При помощи сцинтилляционного счетчика измеряется полная ионизация, создаваемая заряженными частицами и  $\gamma$ -квантами в кристалле  $\text{CSJ(Tl)}$ , а также ведется счет событий по четырем энергетическим порогам ( $40, 300 \text{ Кэв}$  и  $4, 10 \text{ Мэв}$ ).

Импульсы амплитудой  $\approx 0,1 \text{ в}$ , снимаемые с динода ФЭУ, подаются на входной каскад, являющийся усилителем тока. После делителя импульсы с амплитудой, соответствующей четырем энергетическим порогам, поступают на двоичные пересчетные схемы. Суммарная ионизация определяется по анодному току ФЭУ. Измерение анодного тока производилось при помощи релаксационной токовой ячейки. Этот метод позволяет измерять токи величиной до  $10^{-10} \text{ а}$  [2], что достаточно для измерения ионизации, создаваемой первичными космическими лучами.

Блок В содержит 7 торцовых галогенных счетчиков типа СБТ-9, 6 из которых со всех сторон, кроме окна счетчика, окружены защитой  $5 \text{ г/см}^2 \text{ Рб}$ . Первые три счетчика (№ 1, № 2, № 3) снабжены магнитными анализаторами электронов с двойной фокусировкой с отклонением на  $180^\circ$  в неоднородном магнитном поле. Радиус кривизны центральной траектории составляет для них  $0,75 \text{ см}$ ,  $1 \text{ см}$  и  $2 \text{ см}$  соответственно. Магнитное поле в анализаторах создается постоянными магнитами из анизотропных бариевых ферритов марки ЗБА, которые закреплены на магнитопроводах из магнитно-мягкой стали, служащих корпусами анализаторов. Магнитные системы анализаторов намагничены в собранном виде в поле напряженностью  $10 \text{ кэрст}$  и стабилизированы охлаждением до  $-25^\circ\text{C}$ . Величина поля в середине центральной траектории анализаторов составляет  $1100, 1200$  и  $1300 \text{ эрст}$  соответственно. Величина поля не изменяется за время более одного года после намагничивания и под действием полного объема виброиспытаний. Счетчики № 4, № 5, № 6 имеют одинаковые широкоугольные коллиматоры с углом конуса  $90^\circ$ . Окно счетчика № 5 закрыто алюминиевым поглотителем толщиной  $\approx 10 \pm 2 \text{ мк}$ . Счетчик № 7 является фоновым монитором. Кроме детекторов в блоках размещены преобразователи напряжений, усилители и формирующие пересчетные устройства, осуществляющие накопление информации и преобразование ее для передачи на телеметрическую систему.

Электрические импульсы с торцовых счетчиков формируются нелинейными транзисторными усилителями и передаются в блок А, где с помощью логарифмических интенсиметров скорость счета преобразуется в уровень напряжения. Градуировка счетных и токового каналов фотоумножителя заключалась в установлении энергетических порогов счетных каналов и определении «цены» одного импульса токового канала в единицах энергии, поглощенной в детекторе. Для определения пороговой энергии на вход делителя подавались сигналы от сцинтилляционного счетчика, возникающие при облучении  $\gamma$ -лучами  $Cs^{137}$ ,  $Hg^{203}$ ,  $Sn^{119}$ . На амплитудном анализаторе АИ-100 получены энергетические спектры этих изотопов. Для  $Cs^{137}$  соответствующий фотопик лежал в 75-м канале анализатора. Соответствующая ему амплитуда при каждом срабатывании токовой ячейки:  $p = 3,3 \cdot 10^9$

Зная энергию  $\gamma$ -квантов  $Cs^{137}$ , равную 661 Кэв, находим  $\epsilon$ -энергию, приходящуюся на один милливольт, которая равна 8,2 Кэв/мв. Пороговая амплитуда импульсов от генератора, подаваемых на вход усилителя, при которой начинал срабатывать входной триггер пересчетных линеек, равна  $\epsilon_1 = 4,8$ ,  $\epsilon_2 = 3,8$ ,  $\epsilon_3 = 400$  и  $\epsilon_4 = 1200$  мв. Следовательно, энергетические пороги будут:  $W = E \cdot \epsilon$ ,  $W_1 = 40$  Кэв,  $W_2 = 300$  Кэв,  $W_3 = 4$  Мэв и  $W_4 = 10$  Мэв.

Для градуировки токового канала необходимо определить  $\epsilon_0$ -энергию, выделенную в кристалле за единицу времени:

$$\epsilon_0 = \epsilon_t | t, \quad \epsilon_t = \sum_{i=1}^{100} n_i E_i,$$

где  $n_i$  — число импульсов в каждом канале анализатора за время  $t$ ,  $E_i$  — энергия каждого канала анализатора АИ-100 в Кэв. Далее, измерив  $\epsilon_0 = 1,0 \cdot 10^9$  эв/сек и число срабатываний токовой ячейки в единицу времени ( $N = 0,3$  сраб/сек), находим энергию, выделенную в детекторе при каждом срабатывании токовой ячейки:  $p = 3,3 \cdot 10^9$  эв/сраб.

Счетчик	$G, \text{см}^2 \cdot \text{стер}$	$E_i$
№ 1	$3 \cdot 10^3$	$60 \pm 10$ Кэв
№ 2	$1,8 \cdot 10^2$	$120 \pm 18$ Кэв
№ 3	$5,2 \cdot 10^3$	$430 \pm 32$ Кэв
№ 4	$\sim 3 \cdot 10^1$	$E_e > 40$ Кэв $E_p > 0,5$ Мэв
№ 5	$\sim 3 \cdot 10^1$	$E_e > 60$ Кэв $E_p > 1,5$ Мэв
№ 6	$\sim 3 \cdot 10^1$	$E_e > 40$ Кэв $E_p > 0,5$ Мэв

Градуировка каналов счетчиков блока В заключалась в измерении эффективности счетчиков в зависимости от энергии электронов, падающих в телесном угле коллиматора на окно счетчика. Измерение с использованием тонких источников  $\gamma$ -излучения  $Cs^{137}$  и  $Cr^{90} + J^{90}$  проводилось на сконструированном нами градуировочном спектрометре с тонкой линзой. Результаты градуировки представлены в таблице.

Радиометр РГ-1 был установлен на ИСЗ «Космос-228» и безотказно функционировал в соответствии с заданной программой.

Авторы благодарят А. С. Мелиоранского, Р. М. Тульского, Ю. В. Тригубова и В. И. Королева за ценную помощь, оказанную в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова И. А., Писаренко Н. Ф. и др. «Геомagnetизм и аэрономия», 4, № 4, 781, 1964.
2. Вакулов П. В., Горчаков Е. В., Логачев Ю. И. «Космические лучи», № 6, 9, 1965.

Поступила в редакцию  
19.9.1968 г.

НИИЯФ