

ТЕХНИКО-ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЕЛИЧИН

УГЛОВ ПОЛЕЙ ЗРЕНИЯ МОДУЛЕЙ ПРИБОРА СКИФ-ВЭ

Прибор СКИФ-ВЭ, входящий в состав ГелиоГеофизического Аппаратурного Комплекса ГТАК, является *унифицированным* прибором, разработанным для различных КА и предназначенным для измерений потоков, энергетических спектров, временных вариаций и углового распределения протонов и электронов радиационных поясов Земли (РПЗ), частиц солнечных космических лучей (СКЛ) от солнечных вспышек, а также авроральных электронов, при их совокупном воздействии для использования в системе геофизического мониторинга.

Прибор СКИФ-ВЭ состоит из двух одинаковых блоков СКИФ-ВЭ/В и СКИФ-ВЭ/Г, регистрирующих корпускулярные излучения с двух взаимно-перпендикулярных направлений. Ориентация блоков в осях КА указывается в габаритном чертеже на спектрометр СКИФ-ВЭ.

Основными детектирующими элементами блоков прибора являются два вида детекторных модулей:

- четырехдетекторный спектрометр - «телескоп» СЭР (спектрометр энергичной радиации) для регистрации протонов с энергиями 2 – 160 МэВ и электронов с энергиями 0.15 – 10 МэВ в 8 и 6 энергетических каналах соответственно
- сегментоидный электростатический анализатор (СГМТД) для регистрации низкоэнергичных (0,05 – 15 кэВ) электронов и протонов.

Кроме них в состав блоков прибора СКИФ-ВЭ входят три газоразрядных счетчика с различными геометрическими факторами, один из которых – узконаправленный торцовый СБТ-9 для регистрации электронов и протонов

с энергиями более 40 кэВ 0.8 МэВ соответственно и два всенаправленных - СИЗБГ и СБМ20. Два последних полностью расположены внутри прибора.

На габаритном чертеже МАРД. 412139.016ГЧ прибора СКИФ-ВЭ два одинаковых модуля СГМТД с полями обзора Д и И для раздельной регистрации протонов и электронов расположены соосно. Счетчик СБТ-9 (поле обзора Ж) сонаправлен с ними. Поле обзора Е спектрометра СЭР перпендикулярно полям обзора СГМТД. Все поля обзора – конусы с полными углами раствора, указанными на ГЧ.

На рис. 1 и 2 представлены схематичные изображения СЭР и СГМТД.

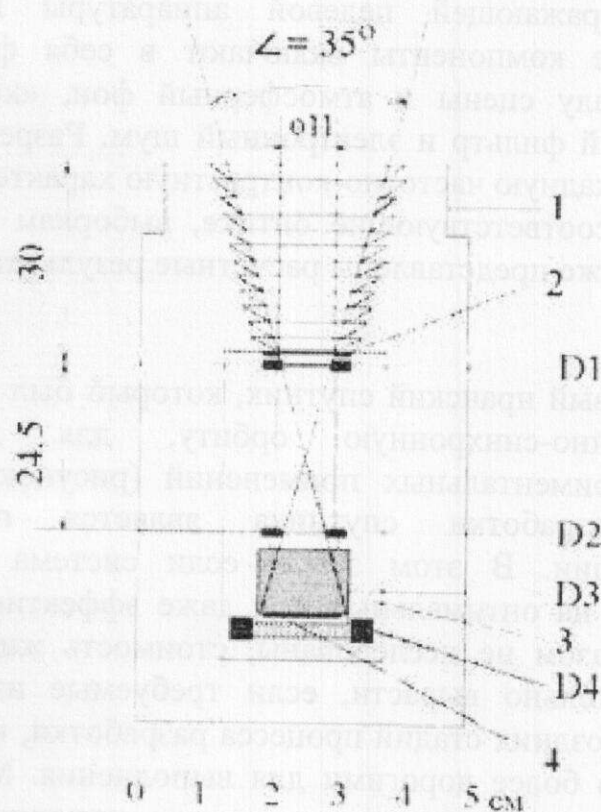


Рис. 1. Схема сборки «телескопа» СЭР:

1 – корпус (латунь); 2 – фольга (двойная майларовая плёнка с алюминиевым напылением) для защиты от света; 3 – изолятор; 4 – фотодиод;

- D1 --- полупроводниковый детектор (ППД) толщиной 40 мкм.
- D2 --- ППД толщиной 500 мкм.
- D3 --- Сцинтилляционный детектор высотой 10 мм.
- D4 --- ППД толщиной 1,0 мм.

Логика модуля СЭР, работающая на принципе совпадений и антисовпадений электрических импульсов с детекторов D1 – D4 с величиной, пропорциональной выделяемой в них энергии пролетающей частицей, формирует несколько энергетических каналов частиц каждого сорта: 6 каналов для электронов и 8 для протонов в общих диапазонах энергий 0.15 – 10 МэВ и 2 – 160 МэВ соответственно. В качестве селектора протонов от электронов использован первый ППД толщиной 40 мкм,

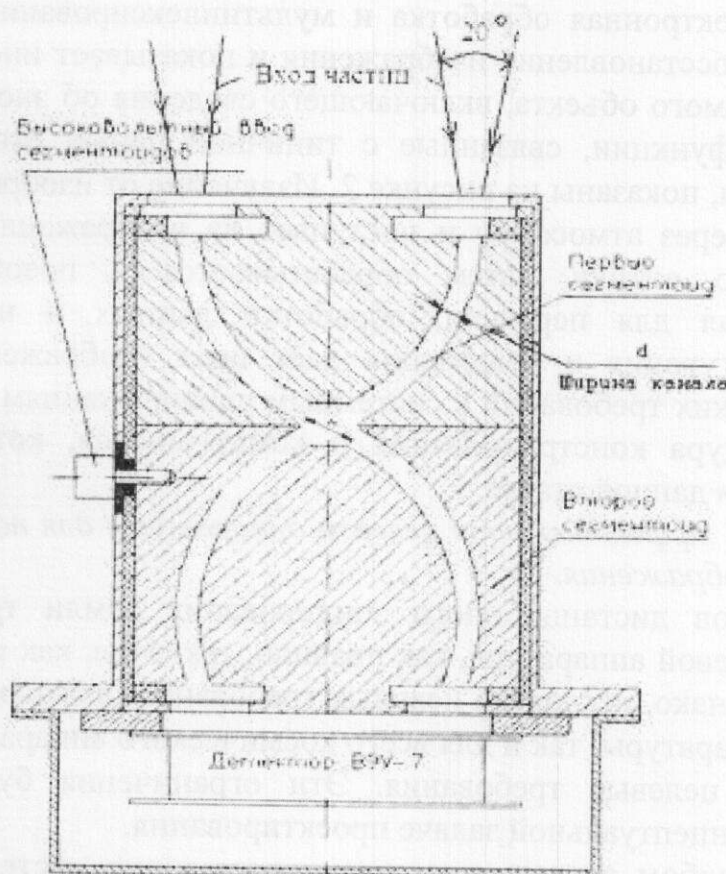


Рис. 2. Модуль СГМТД для регистрации низкоэнергичных заряженных частиц — электронов и протонов с энергией от 50 эВ до 15 кэВ

В модуле СГМТД исследуемые частицы влетают в кольцевой канал анализатора, образуемый частями (сегментами) двух сферических поверхностей, между которыми приложено напряжение, создающее в канале электрическое поле (первый сегментонид). Частицы, прошедшие первый сегментонидный анализатор, пройдя небольшой зазор $h \sim 3,9$ мм, попадают в поле второго такого же анализатора, но с обратным направлением вектора напряженности электрического поля, а затем во входное окно детектора – вторичного электронного умножителя ВЭУ-7, где регистрируются. Второй сегментонидный анализатор необходим для того, чтобы улучшить защищенность модуля от рассеянного ультрафиолетового излучения Солнца, а также от отраженных от внутренних стенок канала анализатора потоков заряженных частиц. Величина напряженности электрического поля в канале анализатора меняется программным образом, что обеспечивает прохождение по нему частиц различных энергий и, таким образом, регистрацию энергетического спектра. Электростатические анализаторы сегментонидного типа, позволяют конструировать компактные системы селекции частиц низких энергий с хорошими выходными характеристиками при создании малогабаритной аппаратуры для космофизических исследований.

Размеры полей зрения и геометрические факторы детекторных модулей выбирались из соображений уверенной регистрации падающего излучения. (Геометрический фактор – это отношение наблюдаемой на выходе прибора скорости счета зарегистрированных частиц к потоку входного пучка частиц в границах данного энергетического интервала).

Модуль СЭР.

Рассмотрим на примере регистрации протонов РПЗ модулем СЭР на КА «Метеор-М» влияние величины угла поля зрения. На рис. 3 показана зависимость геометрического фактора Γ ($\text{см}^2 \cdot \text{ср}$) от полного угла раствора поля зрения α (град).

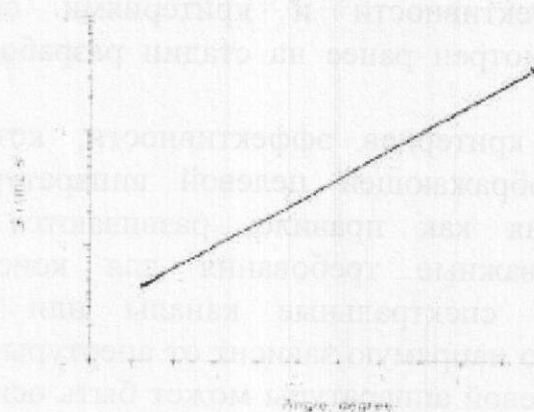


Рис.3.

В таблице 1 представлены рассчитанные на основании среднего модельного дифференциального энергетического спектра протонов РПЗ на околополярной солнечно-синхронной орбите высотой 830 км значения потоков N (частиц/см²*с*ср) в границах ΔE энергетических каналов модуля СЭР. Здесь же даны значения скоростей счета N_1 (част/с) этих потоков при трех значениях геометрического фактора Γ - 0.04; 0.006 и 0.0004 см²*ср. Этим значениям Γ соответствуют величины полного угла раствора поля зрения α = 35, 25 и 10 град (рис.3). Первое и последнее значения Γ и соответствующие им величины N_1 различаются на два порядка.

Таблица 1

№ канала	1	2	3	4	5	6	7	8
ΔE канала, МэВ	2-4	4-9	9-15	15-30	30-60	60-100	100-160	>160
N	25	14	3.6	4	3.1	2.7	2.6	1.6
N_1 (част/с) ($\Gamma=0.04$)	1	0.6	0.14	0.16	0.12	0.11	0.1	0.06
N_1 (част/с) ($\Gamma=0.006$)	0.14	0.08	0.02	0.023	0.02	0.015	0.015	0.01
N_1 (част/с) ($\Gamma=0.0004$)	0.01	0.006	0.0014	0.0016	0.0012	0.0011	0.001	0.0006

Предел обнаружения по потоку протонов определяется как величина, равная уровню фона от протонов галактических космических лучей (ГКЛ) и шумов детектора на выходе, и составляет ~ 0.25 част/см²*с*ср. Общий

геометрический фактор для ГКЛ с энергией более 100 МэВ, проникающих через боковую защиту детекторов и не отключаемых логикой выделения энергетических каналов, составляет $\Gamma \approx 0.55 \text{ см}^2 \cdot \text{ср}$. Поэтому фоновое значение скорости счета в каждом канале (при условии равномерного распределения по каналам) будет равно $\sim 0.02 \text{ част/с}$.

Сравнив это значение с величинами N_1 из табл.1, видим, что выше уровня фона будут регистрироваться частицы во всех каналах при $\alpha = 35$ град, заданном ТЗ и ГЧ прибора СКИФ-ВЭ, а уже при угле $\alpha = 25$ град выше уровня фона будут считаться частицы только в двух младших каналах. При угле $\alpha = 10$ град во всех каналах уровень фона будет превышать счет регистрируемых частиц. Но именно при таком угле в поле зрения Е прибора СКИФ-ВЭ (см.ГЧ) не будут попадать элементы конструкции КА «Метеор-М» №2-2. Как быть? Наши предложения приведены ниже,

Следует отметить, что близкие по величине полю зрения Е модуля СЭР значения углов имеют аналогичные по назначению модули на функционирующих сейчас американских КА STEREO (находятся на орбите Земли вокруг Солнца) и КА RBSP (высокоэллиптическая орбита вокруг Земли, похожая на орбиту «Арктики»).

Модуль СГМТД.

Величина угла поля зрения СГМТД прямо пропорциональна ширине d кольцевого канала анализатора и обратно пропорциональна радиусам его поверхностей. Разработанный модуль СГМТД имеет ширину канала $d = 2$ мм и центральный радиус кривизны канала $R = 2$ см. Рассчитанная при таких параметрах функции пропускания для входных углов, т.е. угловые размеры поля зрения (учитываются только такие траектории движения частиц в канале, которые не пересекают его внутренние поверхности) приведены на рис.4. На рисунке тангенциальный угол σ – это угол в картинной плоскости на рис.2, а азимутальный β – в перпендикулярной плоскости. Видно, что первый имеет полную ширину ~ 20 град, а второй менее 10 град.

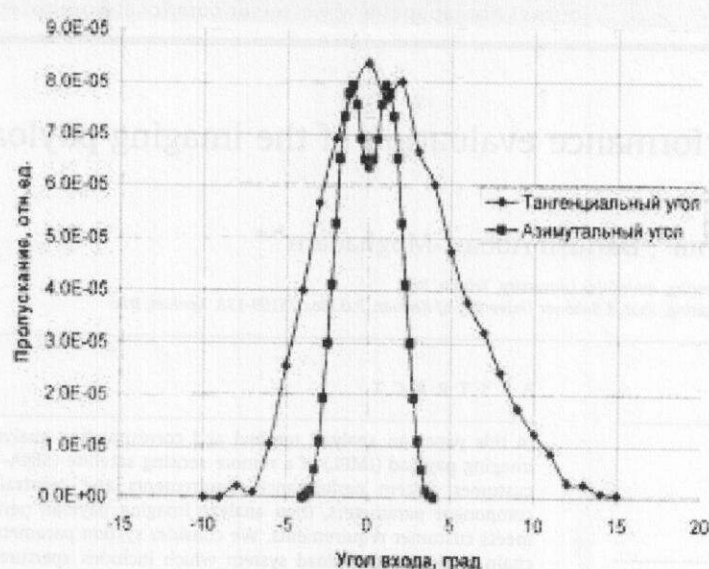


Рис.4

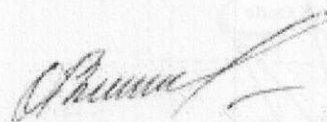
Уменьшить угол σ до 10 град, в принципе, возможно, уменьшив в 2 раза d или увеличив во столько же величину R . Однако и то, и другое неприемлемо, т.к. при ширине канала всего в 1 мм возрастает вклад искажений в электрическое поле канала за счет шероховатостей поверхностей, что приводит к искажениям функции пропускания, а увеличение R приводит к росту габаритов и массы блока.

Попадание в поле зрения СГМТД элементов конструкции КА или прямого солнечного света недопустимо, т.к. частицы малых энергий, регистрируемые СГМТД, легко рассеиваются на элементах конструкции, искажая этим регистрируемые потоки, а ультрафиолетовое солнечное излучение повышает уровень фона.

На основании вышесказанного делаются следующие выводы:

1. Заданное значение угла раствора 35 град. полей зрения Е модуля СЭР блоков СКИФ-ВЭ/В и СКИФ-ВЭ/Г должно быть сохранено. Допускается попадание в поле зрения Е элементов конструкции КА «Метеор-М» № 2-2 с долей затенения не более 0.2 величины поля зрения. Истинную величину телесного угла затенения следует сообщить разработчикам прибора СКИФ-ВЭ.
2. Допустить отклонение осей блоков СКИФ-ВЭ/В и СКИФ-ВЭ/Г прибора СКИФ-ВЭ относительно осей КА «Метеор-М» № 2-2 (см. ГЧ МАРД. 412139.016ГЧ) на угол до 25 градусов для минимизации затенения полей зрения Е блоков элементами конструкции КА.
3. Изменение полей зрения Д и И модулей СГМТД блоков СКИФ-ВЭ/В и СКИФ-ВЭ/Г не представляется возможным. Попадание в поле зрения Д и И элементов конструкции КА или прямого солнечного света недопустимо.

Зам. директора НИИЯФ МГУ



В.И.Оседло

Вед. научн. сотр. НИИЯФ МГУ



В.И.Тулупов