



А. Е. Болотников К. Ф. Власик А. М. Гальпер  
В. М. Грачев В. В. Дмитренко О. Н. Кондакова  
С. В. Кривов С. И. Сучков С. Е. Улин  
З. М. Утешев Ю. Т. Юркин А. А. Колчин  
В. В. Лебедев А. А. Репин Г. П. Скребцов

020-91

**НАУЧНАЯ АППАРАТУРА «БУКЕТ»  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО  
КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**

Государственный комитет СССР  
по народному образованию

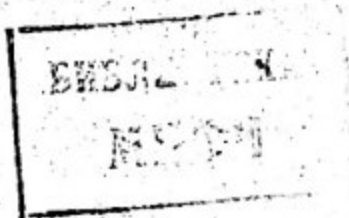
Московский ордена Трудового Красного Знамени  
инженерно-физический институт

А.Е.Болотников К.Ф.Власик А.М.Гальпер В.М.Грачев  
В.В.Дмитренко О.Н.Кондакова С.В.Кривов С.И.Сучков  
С.Е.Улин З.М.Утешев Ю.Т.Юркин А.А.Колчин  
В.В.Лебедев А.А.Репин Г.П.Скребцов

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА "Букет"  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО  
КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Препринт 020-91

Утверждено редсоветом  
института



Москва 1991

УДК 539.1.07: 621.384.8

А.Е.Болотников, К.Ф.Власик, А.М.Гальпер, В.М.Грачев,  
В.В.Дмитренко, О.Н.Кондакова, С.В.Кривов, С.И.Сучков, С.Е.Улин,  
З.М.Утешев, Д.Т.Юркин (МИФИ), А.А.Колчин, В.В.Лебедев,  
А.А.Репин, Г.И.Схребцов (ИФТИ им. Иоффе). Научная аппаратура  
"Букет" для регистрации нестационарного космического гамма-  
излучения. М.: Препринт / МИФИ, 020-91, 1991. - 12 с.

Препринт посвящен результатам работ по созданию научной аппаратуры "Букет", предназначенной для регистрации нестационарного космического гамма-излучения на борту орбитальной станции. Приведено описание конструкции и основных характеристик детектирующих элементов системы. Изложены режимы работы аппаратуры.

© Московский  
инженерно-физический  
институт, 1991 г.

Рукопись поступила в издательский отдел 07.05.91

Ответственный за выпуск С.В.Кривов

Редактор И.В.Макарова

Техн. редактор Е.Н.Кочубей

Подписано в печать 29.06.91.

Объем 0,75 п.л. Уч.-изд.л. 1,0

Изд. № 020-91 Заказ 2915

Формат 60x84 1/16

Тираж 120 экз.

Цена 5 коп.

Московский инженерно-физический институт. Типография ИИИ.

115409, Москва, Каширское шоссе, 31

## ВВЕДЕНИЕ

В течение последних 15 лет ведутся активные исследования астрофизических объектов, проявляющих вспышечную активность в рентгеновском и гамма-диапазонах. Среди них большой интерес представляют гамма-всплески, открытие которых было сделано на американских спутниках системы "Вела", предназначенных для контроля за ядерными испытаниями. Первое сообщение опубликовано Клебесаделом в 1973 году [1]. Вскоре это явление было подтверждено и на других спутниках, например на IMP-6,7, OSO-6,7, SAS-I, "Космос-461", "Apollo-16", "1972-076B" [2-8].

На сегодняшний день наблюдалось уже свыше 200 гамма-всплесков космического происхождения. Однако до сих пор "ахиллесовой пятой" астрофизики гамма-всплесков остается отсутствие их отождествления с известными астрофизическими объектами в других (радио, оптическом, рентгеновском, жестком гамма) диапазонах электромагнитных волн. Имеющиеся на сегодня наблюдательные данные не в состоянии дать однозначного ответа на такой, кажущийся на первый взгляд, простой вопрос о галактическом или внегалактическом происхождении гамма-всплесков.

Существующая информация о временной структуре и энергетических спектрах не позволяет точно определить механизм генерации излучения в источнике. Такая неопределенность привела к существованию множества самых разнообразных гипотез о происхождении гамма-всплесков.

В данной работе описана аппаратура "Букет", предназначенная для регистрации всплескового гамма-излучения на борту орбитального комплекса "Мир". Отличительной особенностью аппаратуры "Букет" является энергетическое разрешение, которое в несколько раз превосходит разрешение уже традиционных для спектрометрии гамма-всплесков приборов на основе сцинтилляторов NaJ и CsJ.

### I. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ "БУКЕТ"

Научная аппаратура (НА) "Букет" предназначена для исследования стационарного и всплескового гамма-излучения в диапазоне энергий 0,05-6,0 МэВ на борту орбитального комплекса "Мир".

- Целью исследования являются:
- обнаружение, локализация, спектральный и временной анализ космических гамма-всплесков;
  - обнаружение, спектральный и временной анализ гамма-излучения солнечных вспышек;
  - спектральный и временной анализ диффузного галактического гамма-излучения;
  - обнаружение и спектральный анализ фоновых потоков искусственного происхождения и альbedo Земли.

#### Основные технические характеристики НА "Букет"

Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, МэВ .....	0,05-8,0
Энергетическое разрешение при энергии 1 МэВ, % .....	2,7
Точность локализации гамма-всплесков, град.:	
слабых (энерговывделение $S = 10^{-6}$ эрг/см <sup>2</sup> ) ...	не хуже 5
мощных ( $S = 10^{-3}$ эрг/см <sup>2</sup> ) .....	не хуже 1
Точность временной привязки зарегистрированного всплеска, мс .....	4
Чувствительность для гамма-всплесков, эрг/см <sup>2</sup> .....	не хуже $10^{-6}$
Геометрическая поверхность регистрации, см <sup>2</sup> :	
"Ксения" .....	100
НВ .....	5x50
СВ .....	300
Поле зрения НА "Букет", стер .....	1,5
Ресурс работы, г. ....	2
Масса аппаратуры, кг .....	130
Энергопотребление, Вт .....	25

Вывод цифровой информации в систему телеметрии (ТМ-систему) орбитальной станции осуществляется через устройство последовательной передачи с частотой 360 бит/с.

Контроль за работоспособностью аппаратуры осуществляется по 13 аналоговым каналам. Для управления работой используется 21 команда командно-релейной линии.

#### 2. УСТРОЙСТВО НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ "БУКЕТ"

НА "Букет" (рис.1) состоит из блоков детекторов, предназначенных для определения направления всплеска (НВ1, ..., НВ5), синхронизационного спектрометра (СВ), гамма-спектрометра "Ксения" и блока электроники (БЭ).

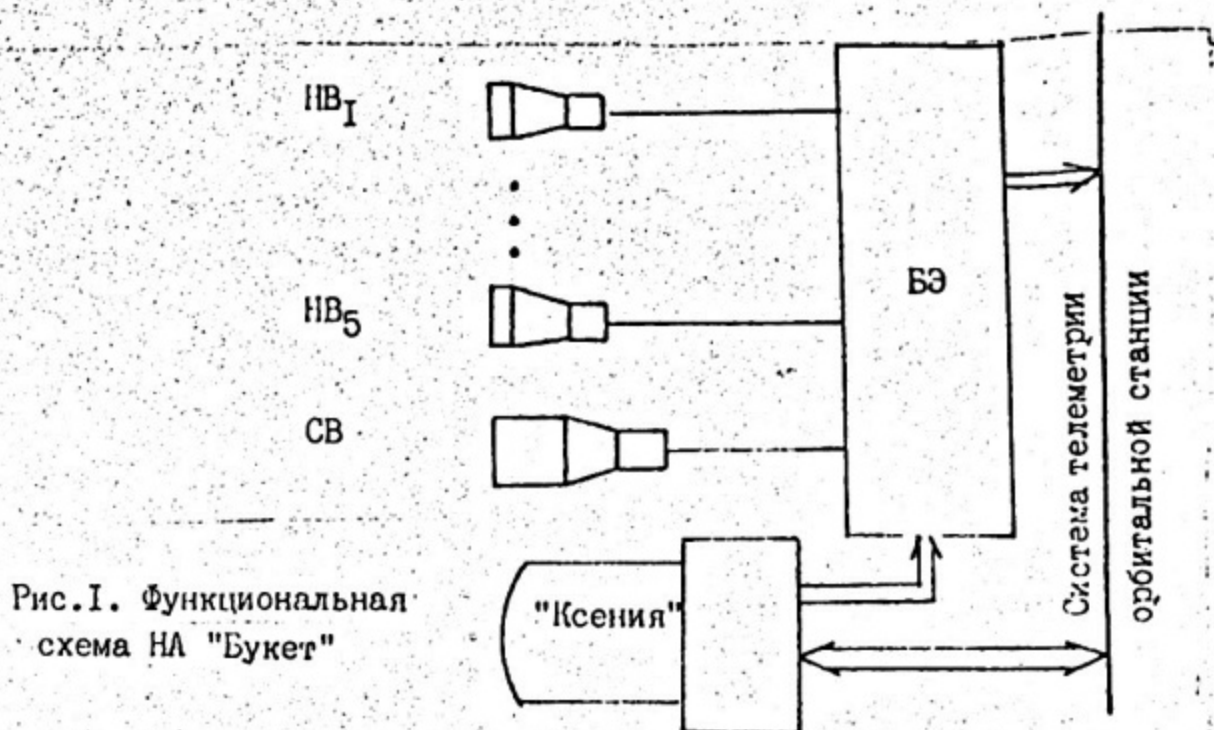


Рис. I. Функциональная схема НА "Букет"

Детекторы NB1-NB5 представляют собой сцинтилляционные кристаллы NaI (Tl) диаметром 80 мм и толщиной 30 мм. Четыре детектора NB1-NB4 расположены таким образом, что их оси направлены под одинаковым углом 45 градусов к оси детектора NB5. В зависимости от направления прихода плоского фронта излучения количество зарегистрированных каждым детектором импульсов от всплеска будет разным, что и позволяет вычислить направляющие косинусы направления на источник всплеска. Соотношение интенсивностей всплеска и фона определяет точность, с которой может быть произведена локализация источника всплеска на небесной сфере. Эта точность колеблется от 1 градуса для мощного всплеска до 5 градусов для сравнительно слабого.

Каждый блок NB имеет 4 выхода. По одному из выходов на обработку в блок электроники БЭ поступают сигналы, соответствующие заряженным частицам, попавшим в сцинтиллятор. По другому каналу идут счетные импульсы от гамма-квантов, зарегистрированных в энергетическом окне 50-150 кэВ. Сигнал на третьем выходе вырабатывается при появлении каждого импульса, превышающего по амплитуде нижний порог. Этот сигнал служит стробирующим импульсом для начала проведения амплитудного анализа аналогового импульса, приходящего с четвертого выхода.

Устройство блока СВ аналогично устройству блока NB, но сцинтилляционный кристалл здесь больше - диаметром 200 мм и толщиной 50 мм.

Основной задачей СВ является спектрометрический анализ гамма-излучения всплеска. В блоке СВ пять логических выходов соответствуют пяти энергетическим окнам гамма-квантов, один выход счета заряженных частиц, имеются выход стробимпульсов и аналоговый выход.

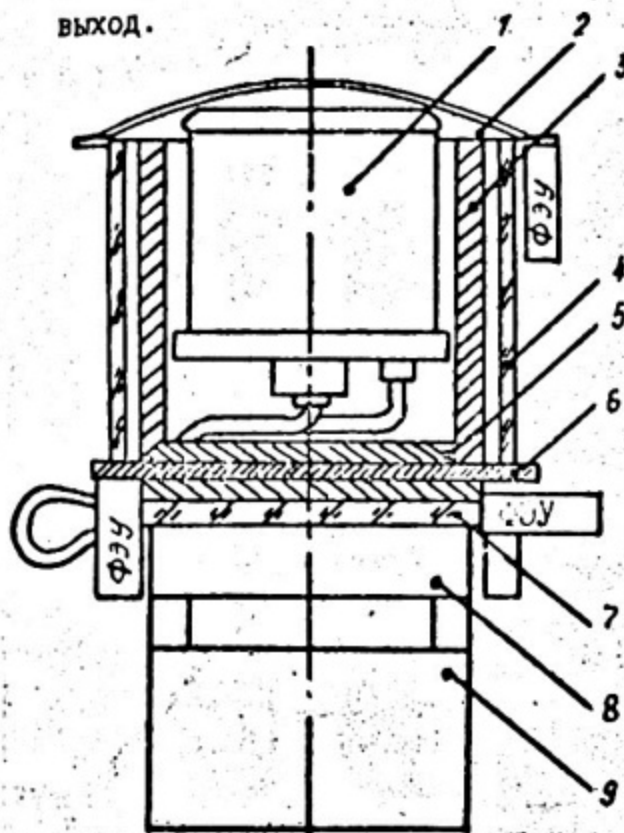


Рис.2. Устройство прибора "Ксения":  
1 - детектор; 2, 4, 7 - сцинтилляционные счетчики; 3, 5 - свинец; 6 - несущая плита; 8 - высоковольтный фильтр; 9 - блок электроники

Конструкция гамма-спектрометра "Ксения" показана на рис.2. В качестве центрального детектора спектрометра используется плоская ионизационная камера, наполненная газовой смесью на основе ксенона и водорода [14]. Плотность и состав газовой смеси выбраны исходя из результатов методических исследований, описанных в работах [15-17]. Оптимальные значения плотности газовой смеси и концентрации водорода составляют 0,6 г/см<sup>3</sup> и 0,5 %.

Детектор установлен внутри свинцового коллиматора и окружен системой сцинтилляционных счетчиков из пластика (рис.3). Коллиматор ограничивает поле зрения детектора до 150 град. Толщина верхнего счетчика составляет 5 мм, толщина бокового и нижнего счетчиков 15 мм. Верхний счетчик

просматривается четырьмя ФЭУ, боковой - восемью, нижний - двумя.

Блок электроники (БЭ) предназначен для обработки сигналов, поступающих из детектирующих блоков НВ1-НВ5, СВ и "Ксения", и передачи выходной информации в ТМ-систему орбитального модуля. Сигналы от детектирующих блоков приходят в БЭ на два выходных интерфейса: аналоговый и цифровой.

Аналоговый интерфейс включает в себя 4 АЦП: один обрабатывает сигналы от сцинтилляционных блоков НВ1-НВ5, один - от блока СВ и два - от блока "Ксения". АЦП обеспечивают 12-разрядное преобразование амплитуды в код за 30 мкс. В соответствии с требованиями, предъявляемыми прибором "Ксения" к

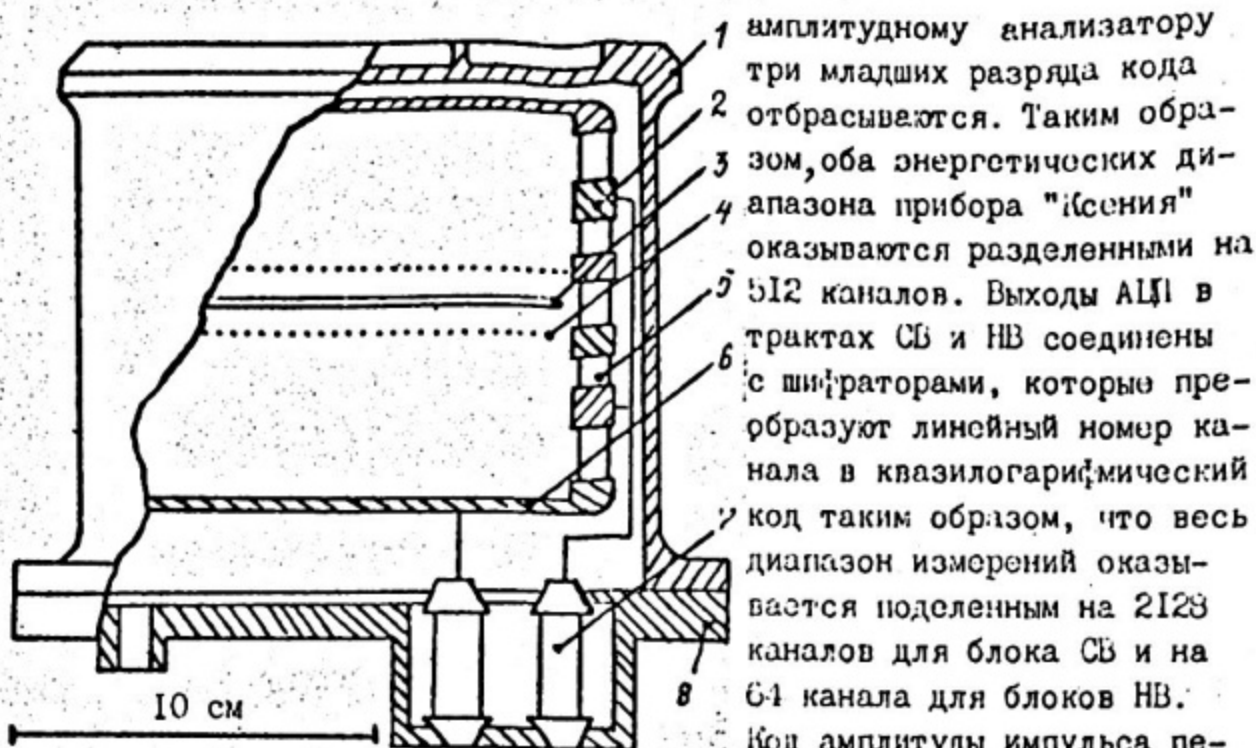


Рис.3. Устройство ионизационной камеры:

- 1 - корпус; 2 - выравнивающий электрод;  
 3 - сигнальный электрод; 4 - экранирующая сетка; 5 - керамические столбы;  
 6 - катод; 7 - гермоввод; 8 - фланец с газовым вводом

1 амплитудному анализатору три младших разряда кода отбрасываются. Таким образом, оба энергетических диапазона прибора "Ксения" оказываются разделенными на 512 каналов. Выходы АЦП в трактах СВ и НВ соединены с шифраторами, которые преобразуют линейный номер канала в квазилогарифмический код таким образом, что весь диапазон измерений оказывается поделенным на 2128 каналов для блока СВ и на 64 канала для блоков НВ. Код амплитуды импульса пересылается в память аппаратуры прямым доступом.

Второй интерфейс - цифровой. Он принимает от детектирующих блоков аппаратуры сигналы, не подлежащие амплитудному анализу, и накапливает их в памяти. Этот интерфейс обрабатывает информацию в счетных каналах аппаратуры.

Входные интерфейсы соединены с основным узлом БЭ микропроцессором 1801ВМ1. Микропроцессор производит обработку информации по программе, записанной в ПЗУ. Сюда входят управление режимами работы НА "Букет" по меткам таймера и сигналу-маркеру, который вырабатывается аппаратурой при детектировании гамма-всплеска, сжатие информации, организация выходного файла и передача его в бортовую ТМ-систему.

Выходной интерфейс предназначен для стыковки выхода аппаратуры с ТМ-системой. По мере накопления информации выходной интерфейс передает данные в ТМ-систему модуля последовательным кодом в асинхронном режиме.

Блоки НВ, СВ и БЭ аппаратуры "Букет" размещаются снаружи орбитального модуля. Блок "Ксения" в связи с жесткими требованиями к температурному режиму располагается внутри изделия.

Для уменьшения количества вещества, попадающего в поле зрения прибора "Ксения", в корпусе изделия предусмотрена специальная ниша. На рис.4 показана схема крепления блоков НА "Букет" на орбитальном модуле.

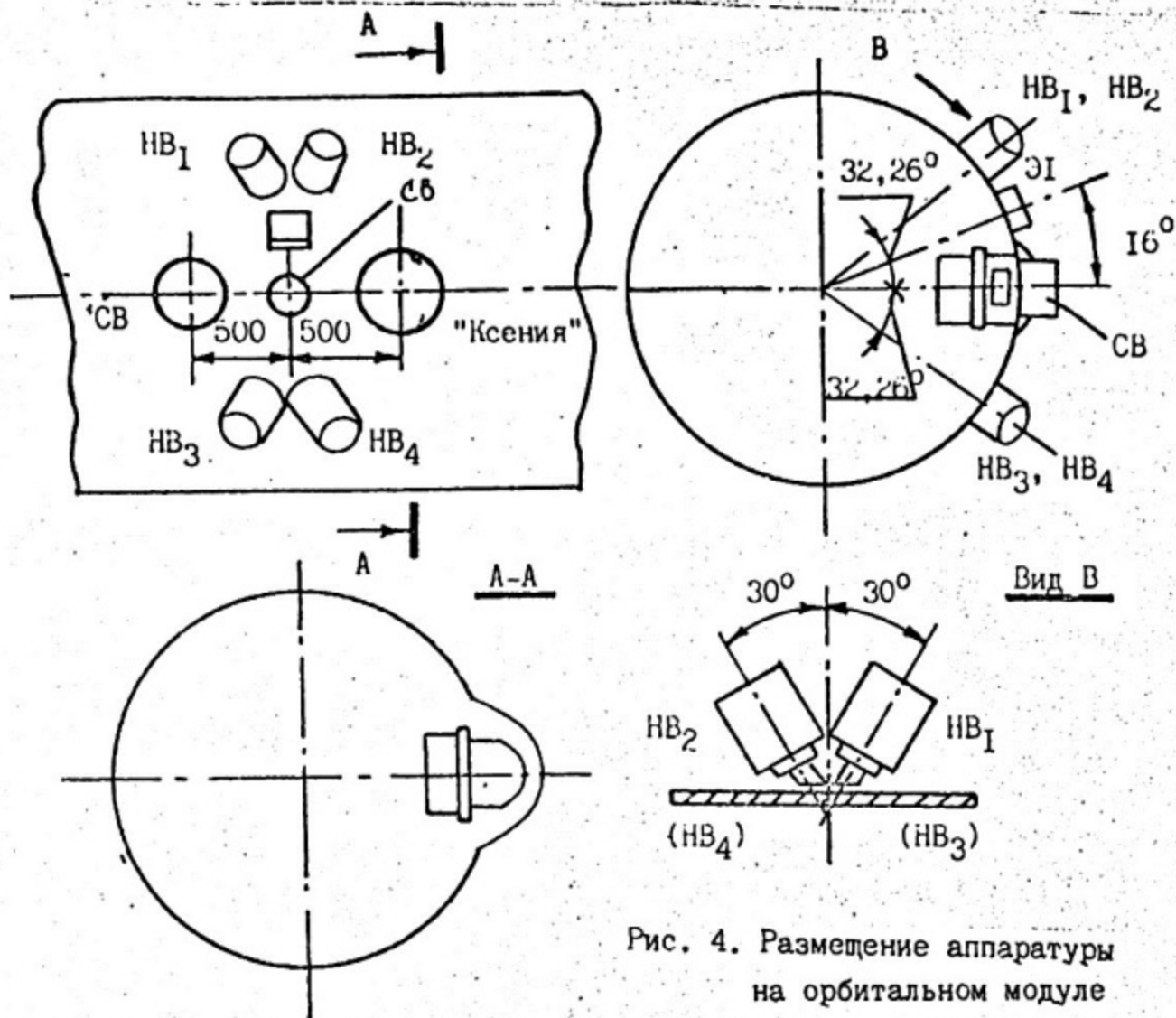


Рис. 4. Размещение аппаратуры на орбитальном модуле

### 3. РАБОТА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ "БУКЕТ"

НА "Букет" может работать в двух основных режимах: дежурном и всплесковом.

Дежурным режимом называется такой режим работы НА, при котором выработка аппаратурой сигнала "Всплеск" запрещена по команде с Земли. Этот режим работы используется при изучении диффузного и фоновых потоков гамма-излучения.

Для перехода во всплесковый режим работы по команде с Земли снимается запрещение на выработку сигнала "Всплеск", а также устанавливается одна из разновидностей всплескового режима: регистрация быстрых всплесков или регистрация медленных всплесков.

Как в дежурном, так и во всплесковом режимах по командам можно менять коэффициенты усиления в блоках НВ и СВ, а также включать и выключать контрольный генератор и антисовпадательную защиту блока "Ксения".

Информация, поступающая с детектирующих блоков в ОЗУ БЭ, накапливается за строго определенные промежутки времени, компонуется в файлы и передается в ТМ-систему модуля. Если ТМ-система временно не может принимать информацию, выходные файлы накапливаются в ОЗУ.

### 3.1. ДЕЖУРНЫЙ РЕЖИМ

Время накопления одной порции информации в дежурном режиме составляет 80 с.

В этом режиме в ОЗУ аппаратуры накапливаются спектры с детектирующих блоков НВ, СВ и "Ксения". Одновременно в памяти регистрируются скорости счета в логических информационных каналах аппаратуры. Временные метки, определяющие продолжительность всех операций, задаются таймером, подающим сигналы с периодом 4 мс. Метки таймера прерывают работу процессора. По истечении 30 с с начала измерения устанавливается запрет на прерывание и формируется выходной файл со сжатием набранной информации и записью в предусмотренные для этого области ОЗУ. После завершения этой операции запрет прерывания снимается, и ближайший сигнал таймера запускает новый цикл измерений.

Помимо этого в дежурном режиме производится постоянная запись в ОЗУ быстрой и медленной предыстории. Предыстория представляет собой временные профили темпов счета гамма-квантов детекторами НВ и СВ, записанные для быстрой предыстории за последние 128 мс шагом 8 мс и для медленной предыстории за последнюю секунду с шагом 1/8 с. Эта информация хранится в памяти, непрерывно обновляется, но в выходной файл не выводится.

### 3.2. ВСПЛЕСКОВЫЙ РЕЖИМ

Для работы во всплесковом режиме подается команда, снимающая запрет на выработку сигнала "Всплеск". По командам командно-релейной линии можно также видоизменять всплесковый режим работы аппаратуры. Команды позволяют:

устанавливать режим регистрации длинных или коротких всплесков;

выбирать порог по темпу счета заряженных частиц, при превышении которого всплесковый режим блокируется;

блокировать любые из детекторов НВ от анализа на начало всплеска;

выбирать число стандартных отклонений темпа счета гамма-квантов, при превышении которого вырабатывается сигнал "Всплеск" (после включения аппаратуры данное число равно 6).

Сигнал "Всплеск" может вырабатывать любой из пяти детекторов  ${}^6\text{LiB}$  в случае, если:

1) данный детектор не отключен от анализа на начало всплеска (отключение применяется для блокировки вышедших из строя детекторов);

2) нет запрета на выработку сигнала "Всплеск" по общей загрузке заряженными частицами или гамма-квантами (блокировка по загрузке возникает при вхождении в радиационные пояса Земли);

3) темп счета с данного детектора за последний интервал времени превысил усредненный темп счета за предыдущие интервалы времени на заданное число стандартных отклонений.

При работе во всплесковом режиме в периоды, когда сигнал "Всплеск" не вырабатывается, аппаратура функционирует абсолютно аналогично дежурному режиму - каждые 80 с формируется очередной дежурный файл.

При возникновении сигнала "Всплеск" процессор прерывает набор дежурного файла и переходит на работу по всплесковой программе. Всплесковая программа для режима коротких всплесков заключается в накоплении информации за 3,5 с с начала всплеска и формировании всплескового файла 1.

Всплесковая программа для режима длинных всплесков заключается в накоплении информации за первые 3,5 с с начала всплеска, формировании всплескового файла 1; накоплении информации за последующие 20 с, формировании всплескового файла 2

и, наконец, накоплении информации за последующие 64 с и формировании всплескового файла 3.

Сформированные всплесковые файлы ставятся в очередь на вывод в ТМ-систему, и процессор переходит к набору следующего дежурного файла. Прерванный дежурный файл будет выведен в ТМ-систему после всплесковых файлов, прервавших его.

Всплесковый файл 1 содержит также предысторию всплеска, которая содержалась в ОЗУ в момент выработки сигнала "Всплеск".

Таким образом, информация о всплеске накапливается за 3,5 с для режима коротких всплесков и за 37,5 с для режима длинных всплесков не зависимо от реальной длительности всплеска.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ ПРИБОРА "КСЕНИЯ"

На рис. 5 представлены основные калибровочные зависимости прибора "Ксения" - основного спектрометрического детектора НА "Букет". Данные зависимости получены в лабораторных условиях с помощью набора эталонных источников гамма-излучения. Калибровка проводилась на базе специализированного стенда.

Зависимость реального разрешения прибора "Ксения" от энергии показана на рис. 5, а. Для энергии гамма-квантов 1 МэВ разрешение составляет приблизительно 2,7%, или 27 кэВ.

На Рис. 5б приведена зависимость эффективности регистрации гамма-излучения прибором "Ксения" от энергии. В диапазоне энергий 500-1300 кэВ эффективность регистрации монотонно спадает и для энергии 1 МэВ составляет около 1,7%.

Рис. 5в иллюстрирует зависимость от энергии отношения амплитуды пика полного поглощения к амплитуде плато комптоновского распределения. Для энергии 1 МэВ данное отношение составляет 2,5.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная в данной работе научная аппаратура "Букет" установлена на космическом модуле "Кристалл", запуск которого осуществлен 31 мая 1990 года. На орбите модуль "Кристалл" работает в составе орбитального научного комплекса "Мир".

Исследования гамма-излучения с помощью аппаратуры "Букет" позволят получить новые экспериментальные данные о таких интересных и до конца не изученных явлениях, как всплески космического гамма-излучения и вспышки на Солнце.

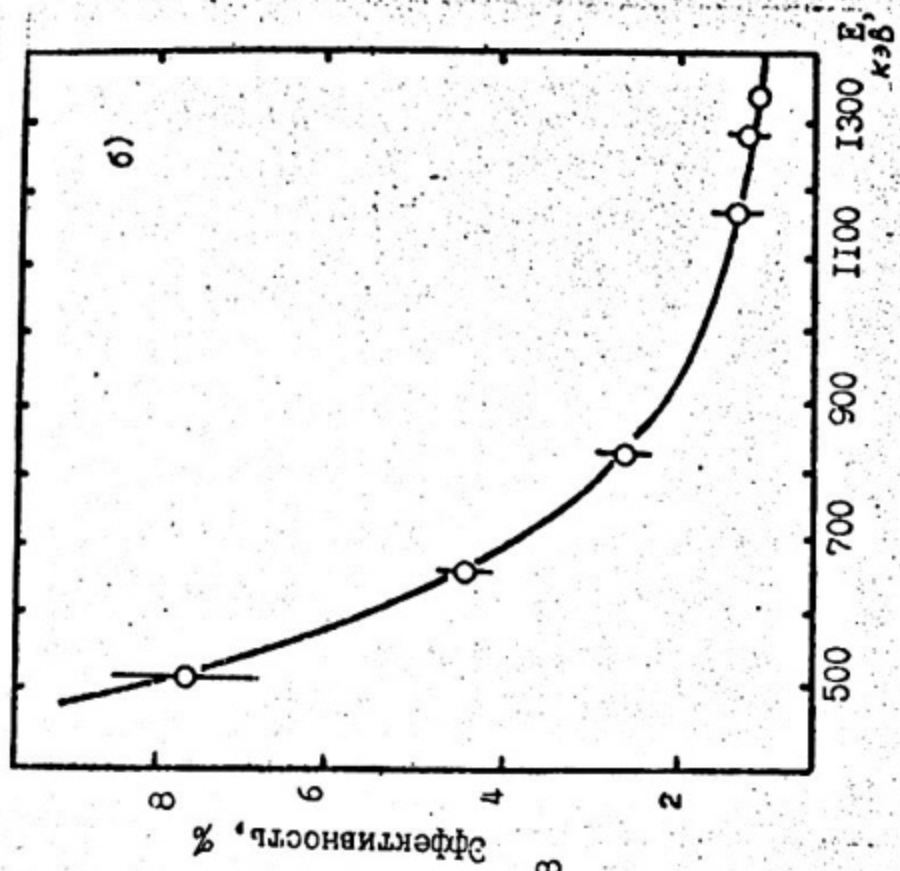
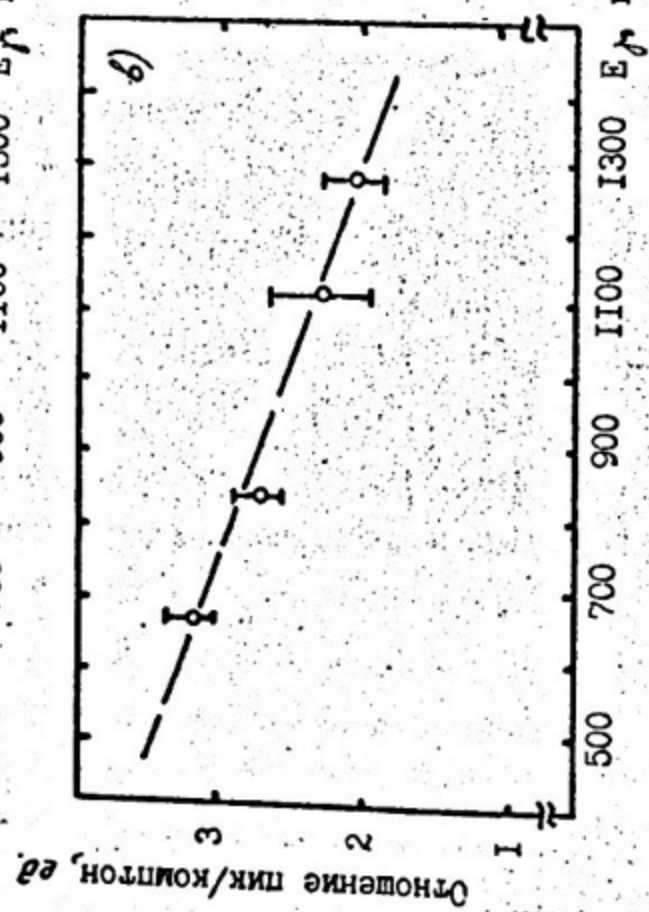
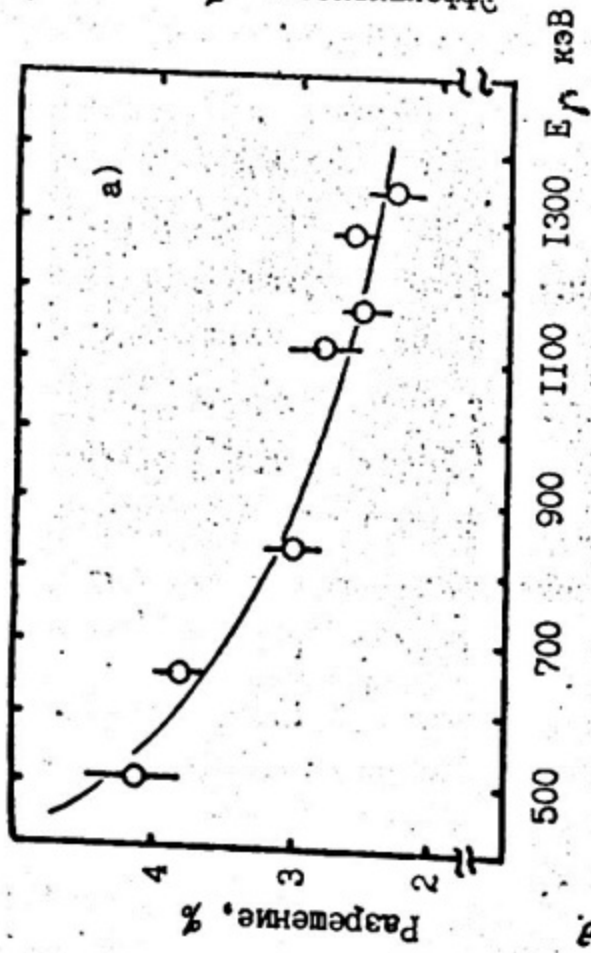


Рис. 5. Основные калибровочные зависимости блока "Ксения":

а - зависимость разрешения блока "Ксения" от энергии гамма-квантов; б - зависимость эффективности регистрации гамма-квантов от энергии; в - отношение амплитуды пика полного поглощения к высоте комптоновского плато для спектров

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Klebesadel R. W. et all. *Astrophysical Journal*, 182, L85, 1973.
2. Sline T. L. et all. *Astrophysical Journal*, 188, p. L1, 1974.
3. Weaton W. A. et all. *Astrophysical Journal*, 185, p. L57, 1973.
4. Koch D. et all. Proc. Tconf. Transient Cosmic Gamma — and X — ray Sources, Los Alamos Report LA-5505, p. 16, 1974.
5. Мазец Е. П. и др. Письма в ЖЭТФ, 19, с. 126, 1974.
6. Metzger et all. *Astrophysical Journal*, 194, p. L19, 1974.
7. Inhoff W. L., Nakano G. N. *Astrophysical Journal*, 191, p. L7, 1974.
8. Pizzichini G. et all. *Astrophysical Journal*, 195, p. L1, 1975.
9. Cline T. et all. *Astrophysical Journal*, 1980, v. 237, p. L1.
10. Mazets E. P. et all. «Nature», 1981, v. 378.
11. Мазец Е. П. и др. Препринт ФТИ-719, Ленинград, 1981.
12. Эстуллин И. В. «Космические исследования», 1983, т. 21, с. 137.
13. Кузнецов А. В. «Космические исследования», 1982, т. 20, с. 89.
14. Дмитренко В. В. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1988, т. 1, с. 21.
15. Дмитренко В. В. и др. ЭТФ, 1983, т. 53, вып. 12, с. 2343.
16. Болотников А. Е. и др. Материалы к 6 семинару по точным измерениям в ядерной спектроскопии, ч. 11, Вильнюс, 1988, с. 187.
17. Болотников А. Е. и др. В кн.: «Космические исследования». М.: Энергоатомиздат, 1988, с. 83.