

УДК 52.08:539.1.075

РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ БАКСАНСКОГО ПОДЗЕМНОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ТЕЛЕСКОПА

© 2019 г. А. Ф. Янин¹, И. М. Дзапарова¹*, М. М. Болиев¹, Е. А. Горбачева¹,
М. М. Кочкаров¹, А. Н. Куреня¹, В. Б. Петков¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: dzaparova@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ) расположен на Северном Кавказе в подземной лаборатории на эффективной глубине 850 метров водного эквивалента. Запуск БПСТ состоялся в 1977 г., и установка работает до сих пор. Удачная конструкция БПСТ позволяет использовать его для решения ряда проблем астрофизики и физики частиц. Новая система сбора информации разработана для регистрации и анализа экспериментальных данных со значительно улучшенными характеристиками измерений цифровых и аналоговых сигналов. Система сбора основана на интерфейсе VME и обеспечивает полную совместимость с существующей регистрирующей электроникой нижнего уровня БПСТ. Годоскоп импульсных каналов разработан заново и реализован на микросхемах программируемой логики и микросхемах стандарта LVDS.

DOI: 10.1134/S0367676519050399

ВВЕДЕНИЕ

БПСТ расположен на глубине 850 метров водного эквивалента и состоит из 3180 автономных счетчиков [1]. Счетчик заполнен сцинтиллятором на основе уайт-спирита, сцинтиллятор просматривается одним фотоэлектронным умножителем ФЭУ 49Б. Используемый сцинтиллятор разработан в ИИИ РАН [2] и по таким характеристикам как сцинтилляционный выход, короткое время высвечивания, прозрачность для собственного излучения остается одним из лучших в мире. Долговременная стабильность сцинтиллятора проверена на практике — установка работает с ноября 1977 г., и за это время менее одного процента сцинтилляционных счетчиков по разным причинам подверглись замене. Таким образом, продуманная геометрия установки, удачная конструкция сцинтилляционного счетчика и долговременная стабильность сцинтиллятора дают возможность использовать БПСТ для решения целого ряда задач современной космофизики. С другой стороны, существующая система сбора информации (ССИ), архитектура которой была разработана в 70-х гг. прошлого столетия, не позволяет в полной мере использовать возможности сцинтилляционных счетчиков установки. Создание новой системы сбора информации БПСТ на современной про-

граммно-аппаратной платформе позволит радикально улучшить характеристики телескопа.

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ БПСТ

Разработан прототип системы сбора информации Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа на новой программно-аппаратной платформе. Основой системы являются современные устройства в стандарте VME фирмы SAEN, а также разработанные в лаборатории годоскоп импульсных каналов и два многоканальных блока согласования стандартов сигналов. На рис. 1. изображена функциональная схема ССИ, включающая в себя как новые блоки, так и два крейта с нестандартными блоками, подлежащими замене.

Вновь разработанный годоскоп импульсных каналов (ГИК) собран в конструктиве КАМАК, но интерфейс КАМАК не используется. В основу работы по разработке ГИК частично положены идеи годоскопа, разработанного для международного проекта ЕММА [3]. Все входные блоки имеют разъемы совместимые с существующей регистрирующей электроникой нижнего уровня. В новых блоках, разработанных в лаборатории, используются интегральные микросхемы программируемой логики серии Cyclone III фирмы Altera и микросхемы, использующие стандарт сигналов

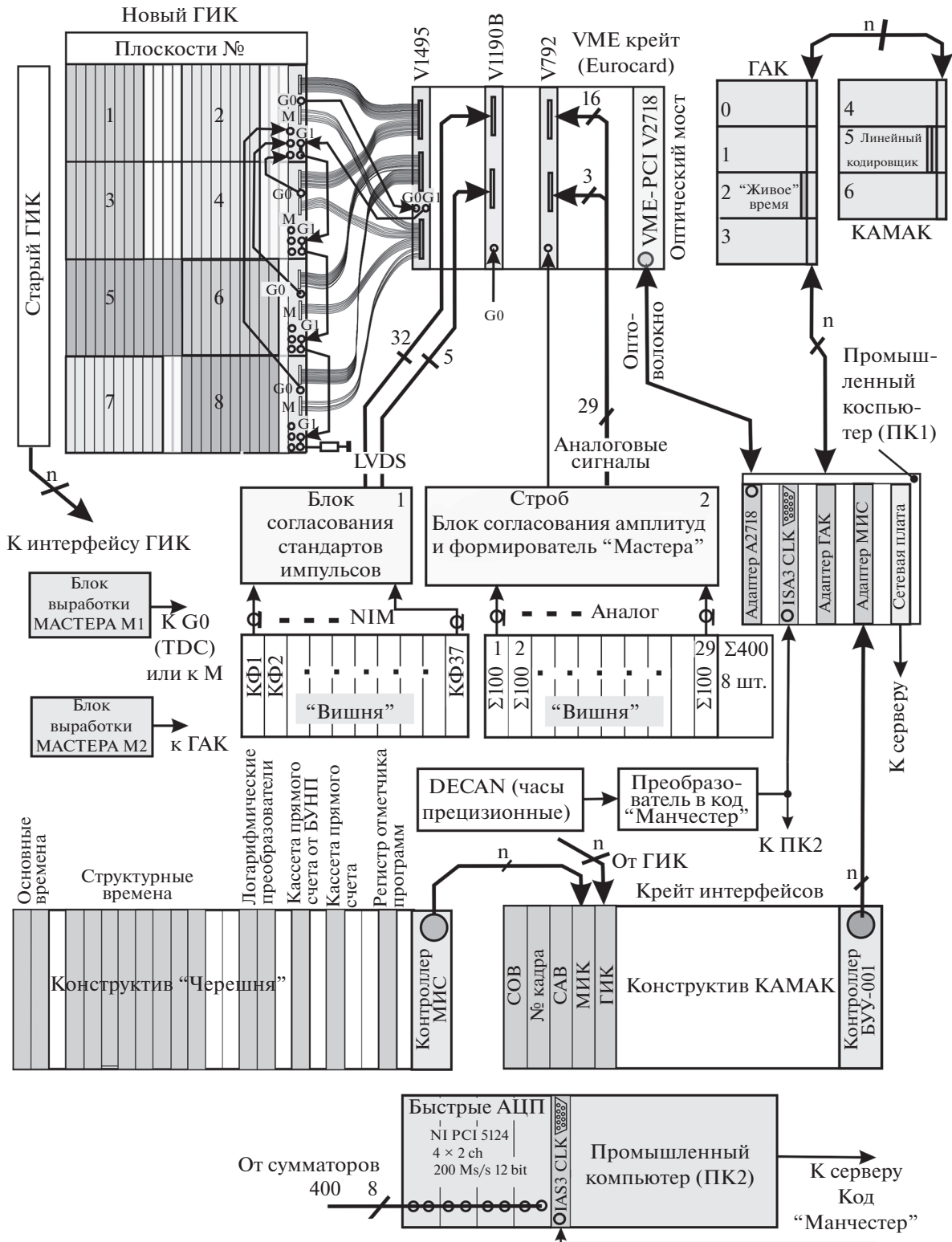


Рис. 1. Блок-схема прототипа системы сбора информации БПСТ.

LVDS. Задний кросс крейтов предназначен только для передачи данных в контроллеры ветви и подачи напряжений питания. Так как шины на

заднем кроссе имеют не полностью согласованное волновое сопротивление, то максимальная скорость передачи данных ограничена. Тем не

менее, тестирование показало, что скорость передачи данных в десятки раз выше, чем для стандарта КАМАК.

Все каналы годоскопа размещены в 4-х крейтах. Координаты сработавших счетчиков будут считываться входным регистром V1495 [4]. Для нашей задачи входной регистр работает в режиме двух 32-битных портов на прием данных (А и В) и одного 32-битного порта (С) на выдачу данных. Передаются 16-битные данные с помощью четырех шлейфов в приемные порты А и В входного регистра. Функции двух разъемов Lemo на передней панели V1495 могут программироваться. Разъем G0 используется как вход, который запускает процесс измерения. Разъем G1 программируется как выход и используется для подачи управляющего сигнала в контроллеры ГИК. Через четыре шлейфа 8-битные данные из порта С подают управляющие сигналы в контроллеры ГИК. Процесс измерения инициируется либо выходным сигналом G0 с ГИК, либо с блока выработки триггерного сигнала (М).

Каждая плоскость БПСТ делится на группы сцинтилляционных счетчиков (1/3, 1/4 или 1/5 от общего числа счетчиков плоскости в зависимости от ее номера) – структуры. Временные измерения восьми плоскостей и 29 структур плоскостей будут проводиться 64 канальным время-цифровым преобразователем V1190В производства фирмы CAEN [5]. Использование блока V1190В позволяет полностью исключить крейты в конструктиве “Черешня” со всеми его блоками измерения и крейт интерфейсов в стандарте КАМАК. Такая замена значительно улучшает временные характеристики и повышает надежность.

Суммарные сигналы энерговыделений от восьми плоскостей подаются на входы плат быстрых аналогово-цифровых преобразователей NI PCI 5124, расположенных в промышленном компьютере ПК2. Платы позволяют с большой точностью измерять энерговыделение для событий, что позволит изучить энергетический спектр нейтрино испускаемых коллапсирующей звездой. Для решения некоторых задач требуется знать не только энерговыделение, но и форму сигнала. Форма позволяет отделять полезный сигнал от помех и анализировать параметры частицы, изучать распавшиеся процессы внутри счетчика.

Энерговыделения структур плоскостей будут измеряться зарядово-цифровым преобразователем (ЗЦП) V792 [6]. Для снижения затрат при модернизации, с целью использования прежней регистрирующей электроники нижнего уровня, были разработаны два блока согласования стандартов: блок 1 – для перехода из NIM в LVDS (37 каналов); блок 2 – для преобразования аналоговых сигналов в рабочий диапазон ЗЦП и выработки управляющих ворот для него. Конструктивно V792 пред-

ставляет VME 6U модуль единичной ширины, 32 12-битных канала. Входное сопротивление каналов ЗЦП составляет 50 Ом. Входной измеряемый импульс должен иметь отрицательную полярность. Сигналы на входы ЗЦП поступают через плоский кабель, волновое сопротивление которого 110 Ом, поэтому для согласования с входным сопротивлением ЗЦП применяют 16-канальные развязывающие платы (адаптеры) A992, содержащие миниатюрные высокочастотные трансформаторы на каждом входе. Адаптеры позволяют устранить паразитные контуры с замыканием через землю.

Годоскоп амплитудных каналов (ГАК), в отличие от ЗЦП, измеряет не заряд плоскостей, а индивидуально заряд каждого счетчика. ГАК разработан и запущен в работу в 2002 г. Принцип построения и работа изложены в [7]. Все сигналы к ГАК от восьми плоскостей БПСТ подведены к семи крейтам КАМАК. Помимо блоков ГАК, в крейтах установлены блоки измерения “живого” времени и 8 каналов 12-битных линейных кодировщиков от каждой плоскости.

Часы DECAN разработаны в лаборатории ПСТ и используются с 1990 г. Они реализованы на прецизионном кварцевом генераторе с частотой последовательного резонанса 5 МГц. Кварцевый резонатор термостабилизирован при температуре 72°C с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Долговременная нестабильность частоты 10^{-8} Гц. Часы выполнены в конструктиве КАМАК. Для привязки данных всех установок лаборатории к локальному времени информация шифруется в последовательный код Манчестера и рассылается к компьютерам БПСТ, установкам “Андырчи” и “Ковер-3”. Каждый час с помощью приемника GPS фиксируется время часов, позволяя привязаться к всемирному координированному времени и контролировать ход часов.

На рис. 2 представлена структурная схема распределения измерительных каналов ССИ, позволяющая наглядно видеть число каналов в каждом устройстве.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ССИ

В разработанном ГИК используются быстродействующие микросхемы. Тестирование блока приема данных ГИК показало, что скорость передачи данных не ниже чем $80 \text{ МБ} \cdot \text{с}^{-1}$, что в 33 раза выше по сравнению со стандартом КАМАК ($2.4 \text{ МБ} \cdot \text{с}^{-1}$).

Время-цифровой преобразователь V1190В позволяет проводить измерения в диапазоне до 104 мкс с шагом 200 или 800 пс, либо в диапазоне до 52 мкс с шагом в 100 пс. Число каналов V1190В для нашей ССИ избыточно, но дает дополнительный ресурс для расширения системы. Во всех диапазонах нестабильность параметров составляет 10^{-5} .

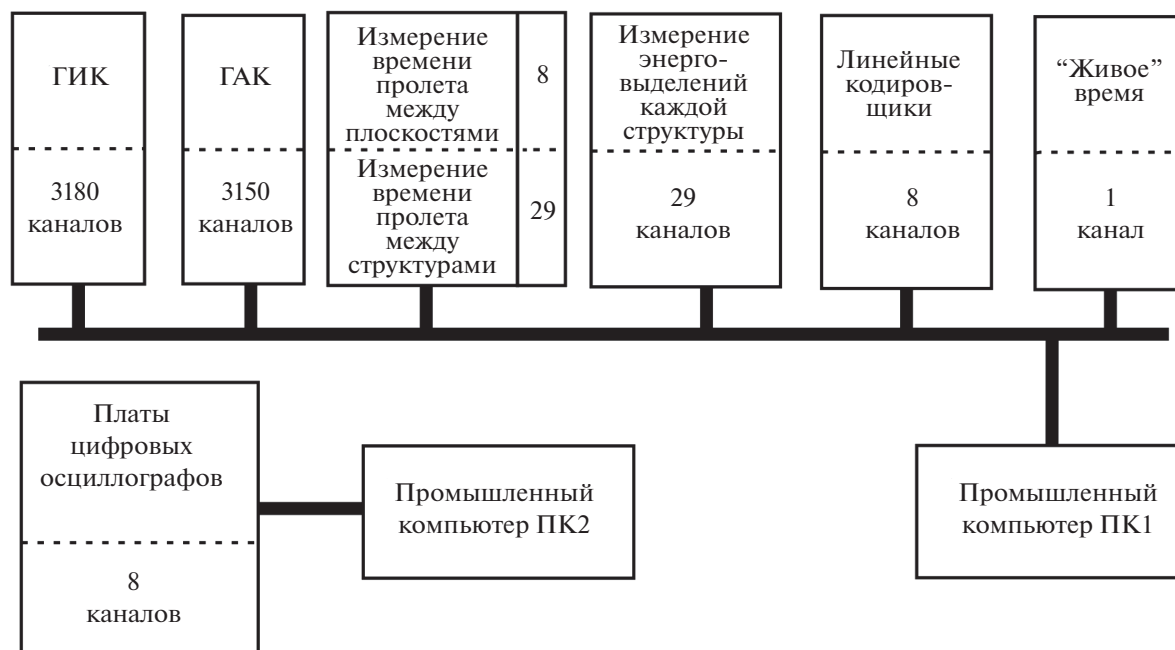


Рис. 2. Структурная схема распределения измерительных каналов ССИ.

Зарядовый диапазон входных импульсов ЗЦП V792 0–400 пКл. Время преобразования 5.7 мкс (на 32 канала), время быстрого сброса 600 нс. Зарядовое разрешение составляет 100 фКл. Интегральная нелинейность $\pm 0.1\%$ от полной шкалы измерения. Для уменьшения дифференциальной нелинейности, равной $\pm 1.5\%$, в ЗЦП можно программно включить режим скользящей шкалы. Зарядово-цифровой преобразователь имеет буферную память на 32 события.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный прототип ССИ позволит значительно увеличить ее надежность за счет исключения нестандартной электроники, а также сократить “мертвое” время с 0.7 мс на событие до 0.05–0.07 мс. Даст возможность при необходимости наращивать число каналов. Точность измерения времени пролета частиц возрастет и будет ограничена только параметрами регистрирующей электроники нижнего уровня (~ 1 нс). Диапазон время-цифрового преобразователя V1190В позволит проводить измерения для новых задач во временном промежутке на три порядка больше. Применение ПЛИС дает возможность гибко изменять архитектуру ГИК.

Работа выполнена на уникальной научной установке Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (центр коллективного пользования Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН) при поддержке Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН “Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии” и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-52-80133).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Е.Н., Алексеенко В.В., Андреев Ю.М. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1980. Т. 44. № 3. С. 609.
2. Воеводский А.В., Дадыкин В.Л., Ряжская О.Г. // ПТЭ. 1970. № 1. С.85.
3. Yanin A.F., Volchenko V.I., Bezrukov L.B. et al. // arXiv: 1101.4489. 2011.
4. <http://www.caen.it/jsp/Template2/CaenProd.jsp?parent=11&idmod=705>.
5. <http://www.caen.it/jsp/Template2/CaenProd.jsp?parent=11&idmod=787>.
6. <http://www.caen.it/jsp/Template2/CaenProd.jsp?parent=11&idmod=41>.
7. Янин А.Ф., Компаниец К.Г., Амельчаков М.Б. и др. // ПТЭ. 2004. № 3. С. 61.