

ПРОЕКТ НОВОГО ТРИГГЕРА ДЛЯ ДЕТЕКТОРА КМД-3

В. Г. Петроченко^{1,*}, *А. О. Горковенко*^{1,2}, *Д. Н. Григорьев*^{1,3},
А. Н. Козырев^{1,2,3}, *А. А. Рубан*^{1,2}, *Д. В. Шёлковий*⁴,
Л. Б. Эпштейн^{1,2,3}, *Ю. В. Юдин*^{1,2}

¹ Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск,
Россия

⁴ Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

В Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера для детектора КМД-3, работающего с 2008 г. на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000, ведутся работы по модернизации триггерной системы: предложен новый алгоритм обработки информации в режиме реального времени, который позволяет более точно определять энергию и координаты кластеров в калориметрах, и разработан прототип нового первичного триггера. Для проверки работоспособности прототипа первичного триггера был создан лабораторный стенд. Представлены предварительные результаты и описание основных технических решений.

The CMD-3 of VEPP-2000 e^+e^- collider is in operation at the Budker Institute of Nuclear Physics since 2008. The upgrade of Triggering subsystem is in progress: the new algorithm for real time processing is proposed, the prototype of the First-Level Trigger board has been developed. It allows for more accurate energy estimation of the clusters in the calorimeter. The special work station has been built to verify Trigger Board performance. Some results and description of the main technical solutions are presented.

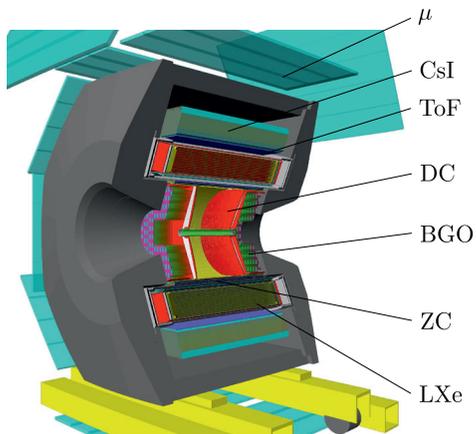
PACS: 0.7.77.KA

ВВЕДЕНИЕ

В Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН исследование высокоэнергетических взаимодействий элементарных частиц осуществляется, в частности, с помощью криогенно-магнитного детектора (КМД-3, рис. 1), работающего на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-2000 [1]. КМД-3 предназначен для экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками с энергиями до 2 ГэВ в системе центра масс. Основная физическая программа экспериментов —

* E-mail: V.G.Petrochenko@inp.nsk.su

Рис. 1. Трехмерная модель КМД-3: μ — мюонная система; ToF — времяпролетная система; DC — дрейфовая камера; ZC — Z-камера; BGO, CsI — калориметры на основе кристаллов германата висмута и йодистого цезия соответственно; LXe — жидкоксеноновый калориметр



прецизионное измерение эксклюзивных адронных сечений, изучение динамики рождения многоадронных состояний и физики адронных взаимодействий в секторе легких кварков [2].

Сбор данных и мониторинг состояния систем детектора осуществляется с помощью системы сбора данных (ССД) [3]. Отбор событий, которые необходимо регистрировать, производит триггерная система (триггер). Для предварительного выделения событий, представляющих интерес для дальнейшего анализа на компьютере, необходимо учитывать расположение сработавших элементов калориметров, величины энерговыделения в этих элементах, а также расположение сработавших элементов трековой системы. Триггер осуществляет непрерывный анализ данных, поступающих с измерительной электроники регистрирующих систем детектора, и, если событие соответствует установленным критериям отбора, формирует сигнал запуска, по которому начинается оцифровка сигналов данного события.

Имеющийся триггер разрабатывался в начале 2000-х гг. С учетом доступной в то время элементной базы исходная информация для триггера была объединена в триггерные ячейки с характерным телесным углом 0,15 ср, что не обеспечивает надежного опознавания многочастичных событий. Кроме того, для выработки сигнала запуска не используется внутренняя часть торцевого калориметра из-за большой фоновой загрузки (вероятность наложения составляет до 30%). Это не позволяет изучать целый класс редких событий, например двухфотонное рождение мезонов, характеризующееся малыми углами вылета частиц. Для расширения круга изучаемых физических процессов разрабатывается новый триггер калориметров на основе современной элементной базы.

В новой версии триггера предлагается уменьшить грануляцию триггерных ячеек до характерного телесного угла, который ограничивается физической структурой калориметров детектора. Для обеспечения воз-

возможности анализа сигналов от внутренней части торцевого калориметра в условиях высокой фоновой загрузки предполагается использовать конвейерную обработку сигналов. В результате телесный угол, обрабатываемый триггером, увеличивается до полного угла калориметров [4], что обеспечивает повышение эффективности регистрации многочастичных событий и событий с малыми углами вылета частиц.

Данная работа посвящена модернизации триггера калориметров КМД-3, которая включает в себя разработку нового алгоритма поиска кластеров. Также предполагается расширить возможности аппаратного мониторинга эффективности триггера. В настоящее время не планируется изменение трековой системы КМД-3, поэтому соответствующая часть триггерной электроники в данной работе не рассматривается.

АЛГОРИТМ ПОИСКА КЛАСТЕРОВ

В новом триггере будут суммироваться сигналы от групп с характерными размерами $0,038$ ср, и каждая такая группа, представленная одним сигналом, является триггерной ячейкой. При более мелкой грануляции триггерных ячеек энерговыделение частиц будет распределяться по нескольким смежным ячейкам. Для восстановления полной энергии каждого кластера энерговыделение по смежным триггерным ячейкам суммируется. Границы суммирования желательно выбирать так, чтобы суммарное энерговыделение получалось в среднем наиболее близким к энергии частицы.

Для обеспечения высокого энергетического разрешения с одновременным уменьшением вклада шумов и наложений в разрабатываемом триггере решено применить новый алгоритм кластеризации, использующий перекрывающиеся «окна» суммирования триггерных ячеек. Новый алгоритм создан на основе метода, разработанного и успешно испытан-

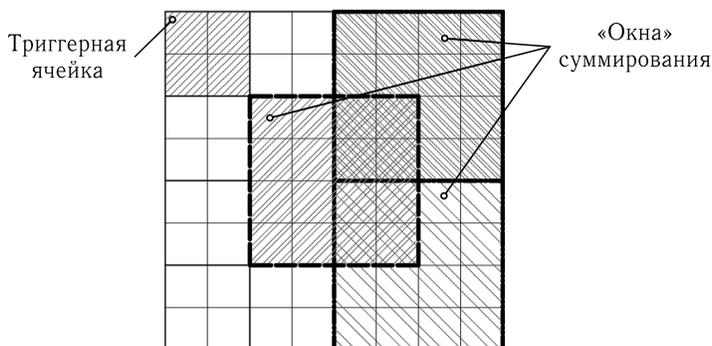


Рис. 2. «Окна» суммирования, соответствующие триггерным ячейкам размерами 2×2

ного авторами для эксперимента СОМЕТ [5]. На рис. 2 показаны «окна» суммирования, соответствующие триггерным ячейкам размерами 2×2 .

Принцип работы алгоритма следующий. На каждом обороте пучка в каждом «окне» суммирования триггерных ячеек вычисляется суммарное энерговыделение. В большинстве случаев при попадании частицы в калориметр значительные энерговыделения будут получены в нескольких перекрывающихся «окнах», в которые попали части одного кластера. Выбирается «окно» с наибольшим энерговыделением, и его параметры (положение центра «окна» и энерговыделение) принимаются в качестве признаков найденного кластера для принятия триггером решения.

НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ССД КМД-3

В настоящее время разрабатывается новая электроника для ССД КМД-3. Структурная схема новой электроники ССД КМД-3 представлена на рис. 3. В процессе работы ССД данные между блоками передаются по трем трактам передачи данных: триггерному, измерительному и тракту служебных сигналов.

От каждого блока, формирующего триггерные сигналы калориметров (АДИС) и трековой системы (Т2Q), по последовательной линии связи

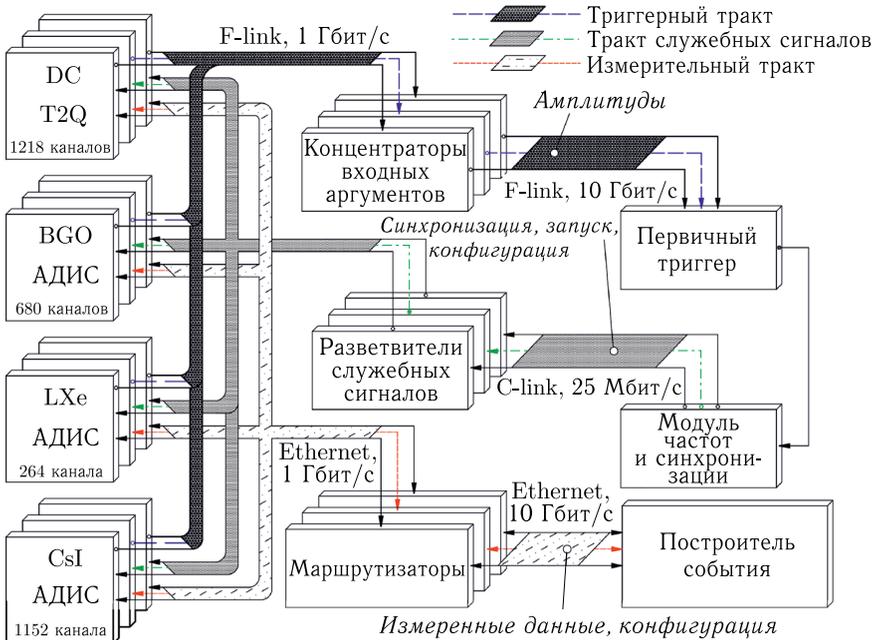


Рис. 3. Структурная схема новой электроники ССД КМД-3

со скоростью 1 Гбит/с (F-link) передаются аргументы для *первичного триггера* (ПТ). На основе полученных аргументов ПТ принимает решение об обнаружении события. Для уменьшения числа передающих линий используются *концентраторы входных аргументов*, которые объединяют потоки входных аргументов от нескольких измерительных блоков и передают их в ПТ со скоростью 10 Гбит/с. *Модуль частот и синхронизации* (МЧС) принимает сигналы от ПТ, синхронизирует их с моментом столкновения пучков и формирует команды на запуск измерений и передачу данных в ССД. Эти команды распространяются по специальному интерфейсу ССД C-Link[3] к *разветвителям служебных сигналов* (РСС), а отсюда по таким же интерфейсам C-Link передаются в каждый блок электроники ССД детектора. В ответ на такую команду блоки электроники будут выдавать данные измерений по интерфейсу Ethernet в *построитель события* (рис. 3, измерительный тракт). Так как от каждого измерительного блока будет идти минимум одна кабель гигабитного Ethernet, то для уменьшения числа кабелей, идущих в построитель событий, решено использовать стандартные блоки *маршрутизаторов*.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПОВ БЛОКОВ НОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В настоящее время изготовлены прототипы блоков АДИС и ПТ нового триггера и ведется их отладка. Для отладки и тестирования прототипов блоков АДИС и ПТ был разработан стенд, структурная схема которого приведена на рис. 4. В состав стенда входят: *персональный компьютер* (ПК), *генератор сигналов*, *маршрутизатор* и блок МЧС.

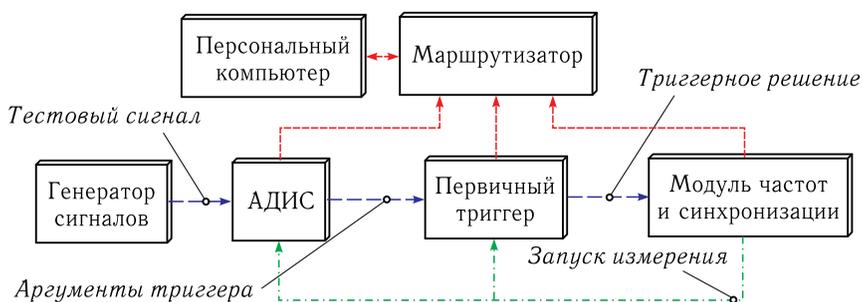


Рис. 4. Структурная схема стенда для тестирования прототипов блоков ПТ и АДИС

Работу стенда можно разделить на три основных этапа: подготовку, измерение и анализ данных. Во время подготовительного этапа происходит конфигурация всех электронных блоков. На следующем, измерительном, этапе генератор сигналов формирует тестовые сигналы, которые

подаются в АДИС. Там они оцифровываются и подвергаются цифровой обработке. По результатам цифровой обработки формируются триггерные аргументы, которые передаются в ПТ. На основе полученных данных ПТ производит поиск кластеров, подсчет полного энергосодержания и генерирует сигнал решения. При получении этого сигнала модуль МЧС формирует команду «Запуск измерения», которая поступает во все блоки стенда. По этой команде блоки стенда формируют пакеты данных с результатом измерения и отправляют их в ПК. На стадии анализа полученные данные обрабатываются с помощью специальной тестовой программы, которая позволяет выявлять ошибки, возникающие на любом этапе обработки данных в тестируемых блоках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ по модернизации электроники триггера были спроектированы и изготовлены прототипы блоков АДИС и ПТ. В настоящее время ведется их отладка. Отлажены следующие узлы: приемники аналоговых сигналов калориметров, формирователи сигналов, несколько вариантов аналогово-цифрового преобразования и интерфейсы обмена данными. В проектах ПЛИС реализованы необходимые аппаратные модули, выполняющие прием данных от АЦП, формирование аргументов для триггера, новый алгоритм поиска кластеров, а также протоколы последовательных линий связи. Для тестирования и отладки прототипов АДИС и ПТ был создан лабораторный стенд и разработано программное обеспечение для управления стендом.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-42-10025) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (№ Ф23РНФ-118).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khazin B. I.* Physics and Detectors for VEPP-2000 // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. 2008. V. 181–182. P. 376–380.
2. *Eidelman S. I.* Physics at VEPP-2000 // Ibid. V. 162. P. 323–326.
3. *Аульченко В. М., Епифанов Д. А., Козырев А. Н., Логашенко И. Б., Попов А. С., Рубан А. А., Селиванов А. Н., Тальшев А. А., Титов В. М., Юдин Ю. В., Эпштейн Л. Б.* Архитектура системы регистрации и запуска детектора КМД-3 // Автометрия. 2015. Т. 51, № 1. С. 31–38.
4. *Eriřanov D. A.* Electromagnetic Calorimeters of the CMD-3 Detector // J. Phys.: Conf. Ser. 2011. V. 293. P. 012009.
5. *Шелковий Д. В., Григорьев Д. Н., Эпштейн Л. Б., Юдин Ю. В.* Система предварительного отбора событий электромагнитного калориметра эксперимента СОМЕТ // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-мат. наук. 2019. Т. 55. С. 97–109.