

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ КАЛОРИМЕТРА ДЕТЕКТОРА BELLE II

© 2021 г. В. В. Жуланов^{1),2)*}, А. С. Кузьмин^{1),2)**},
Д. В. Матвиенко^{1),2)***}, М. А. Ремнев^{1),2)****}, Ю. В. Усов^{1),2)*****}

Поступила в редакцию 28.04.2020 г.; после доработки 28.04.2020 г.; принята к публикации 28.04.2020 г.

Электромагнитный CsI(Tl)-калориметр является одной из ключевых систем детектора Belle II. Он нацелен на эффективную регистрацию фотонов в широком энергетическом диапазоне от нескольких десятков МэВ до 7 ГэВ. Для непрерывного считывания сигнальных событий при скорости запуска, соответствующей максимальной светимости коллайдера, необходимо иметь высокоэффективную систему сбора данных. В настоящей работе описаны задачи, решаемые такой системой для калориметра Belle II.

DOI: 10.31857/S0044002721010256

1. ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент Belle II [1] работает на ускорительном комплексе SuperKEKB с проектной светимостью $8 \times 10^{35}/\text{см}^2/\text{с}$. Для эффективной работы эксперимента в условиях высокой частоты регистрации событий (до 30 кГц) и жестких фонов от потерянных частиц пучка необходима модернизация систем детектора, в том числе электромагнитного калориметра. Основной проблемой для калориметра является шум наложения от низкоэнергетических фотонов вследствие взаимодеструкции потерянных частиц пучка с конструкцией детектора и коллайдера вблизи места встречи. С увеличением фоновых загрузок такой шум приводит к значительной флуктуации сигнала, что существенно ухудшает энергетическое разрешение. Для частичного подавления этого шума предложена архитектура электроники на базе прежних CsI(Tl)-счетчиков в Belle [2]. Время аналогового формирования выбирается равным 0.5 мкс по сравнению с 1 мкс в Belle. Это уменьшает эффективную длительность импульса со счетчика и, следовательно, вклад шумов наложения. Обновленная электроника также дает возможность непрерывно оцифровывать сигналы со счетчиков с помощью быстрых

АЦП. Оцифрованный импульс численно обрабатывается и вычисляются амплитуда над уровнем пьедестала и время начала сигнала относительно запуска.

Функции аналогового формирования, оцифровки и обработки импульсов со счетчиков выполняются в плате формирователя-оцифровщика (ShaperDSP). Каждая плата обслуживает до 16 каналов электроники и передает данные в плату-коллектор, где данные упаковываются и по оптической линии передаются в глобальную систему сбора данных. Кроме того, в ShaperDSP-платах есть линия быстрого формирования, где сигналы со счетчиков суммируются и передаются в систему формирования сигналов запуска. Такой режим передачи данных с каналов электроники в глобальную систему требует непрерывного и эффективного контроля, который обеспечивается на программном уровне системой сбора данных калориметра, блок-схема которой показана на рис. 1.

2. ВРЕМЕННАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ КАНАЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

Одной из задач системы сбора данных является мониторинг нестабильности отклика электронного тракта, которое возможно из-за изменения температуры, радиационного старения, электромагнитных помех, а также других причин. Данная нестабильность дает вклад в энергетическое и временное разрешение счетчиков посредством коэффициентов преобразования электроники. Они получают с помощью генератора, импульс с которого имитирует сигнал с кристалла. Процедура, включающая быструю и многофункциональную

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

²⁾Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.

*E-mail: v.v.zhulanov@inp.nsk.su

**E-mail: a.s.kuzmin@inp.nsk.su

***E-mail: d.v.matvienko@inp.nsk.su

****E-mail: m.a.remnev@inp.nsk.su

*****E-mail: yu.v.usov@inp.nsk.su

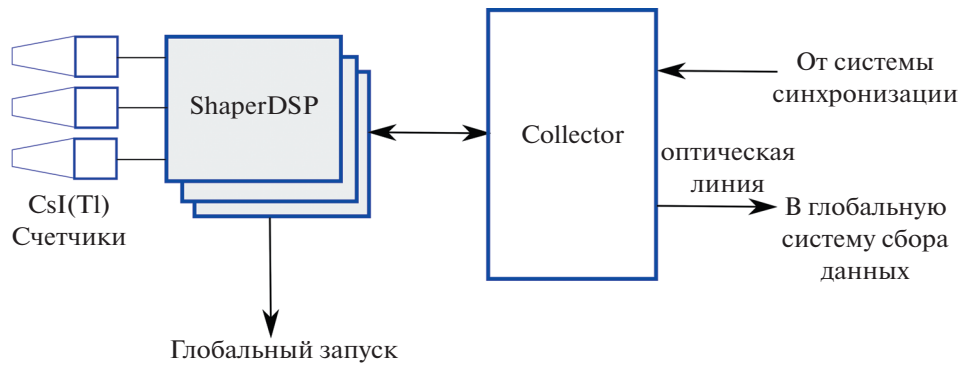


Рис. 1. Упрощенная блок-схема системы сбора данных Belle II калориметра.

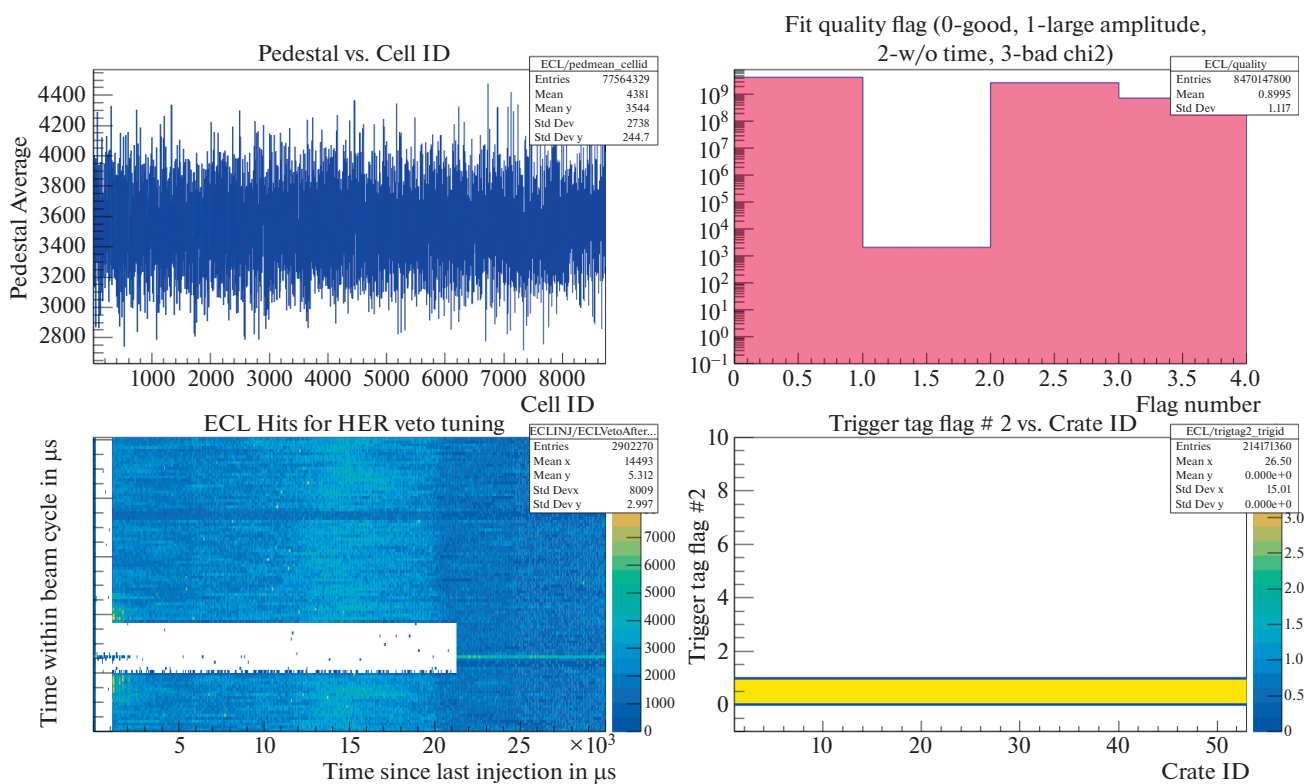


Рис. 2. Гистограммы с on-line монитора качества данных. В верхнем ряду — значение пьедестала от номера канала электроники и значение флага качества подгонки формы сигнала в электронике, в нижнем ряду — загрузка каналов калориметра в зависимости от триггерного времени после инжекции для e^- -пучка и флаг, контролирующий пособытийное объединение данных в ShaperDSP-платах.

обработку данных с генератора, проводится ежедневно. Результаты записываются в базу данных для последующего учета в процедуре калибровки счетчиков.

3. КОНТРОЛЬ ПОТОКА ДАННЫХ

Все данные с калориметра можно условно разделить на две группы. Первую группу составляет

информация со счетчиков с реконструированными амплитудой и временем, если энерговыделение в счетчике превышает 1 МэВ. При этом оцифрованная форма импульса не записывается. Во вторую группу входят АЦП-данные с формой импульса. Доля таких событий не превышает 1–2%. Эти данные используются для проверки работы алгоритма реконструкции, изучения фона и идентификации частиц по форме импульса [3]. В последнем случае

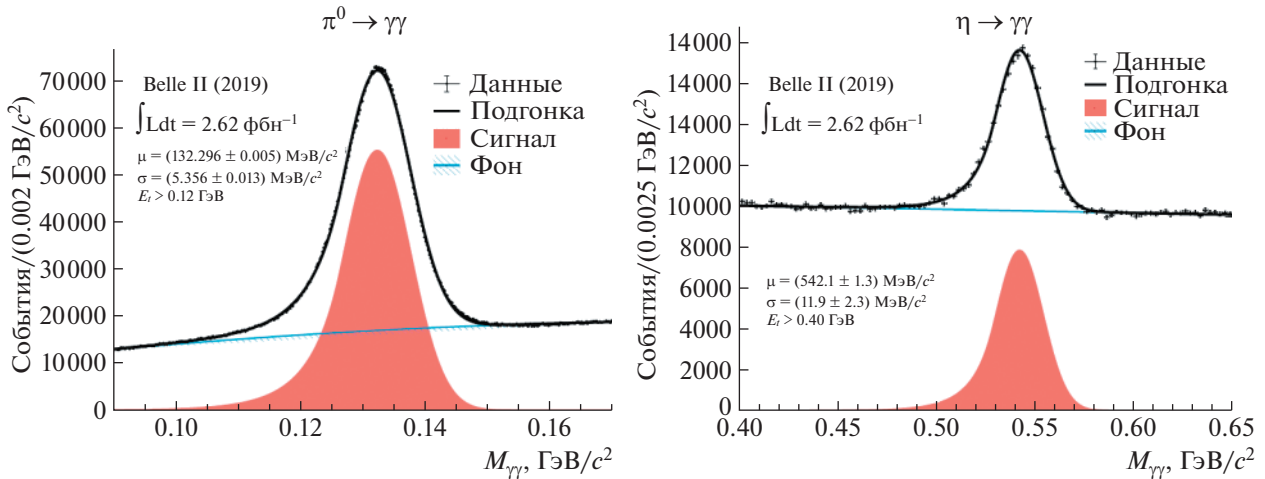


Рис. 3. Распределение по инвариантной массе двух фотонов в областях π^0 - и η -мезонов.

записываются АЦП-данные со счетчиков с энерговыведением выше 50 МэВ.

Ускоритель SuperKEKB работает в режиме непрерывной инжекции. Рассеяние частиц сгустка на остаточном газе в вакуумной трубе ускорителя может привести к возбуждению пучка на короткий интервал времени. В результате значительно повышается уровень фона в системах детектора. При этом существенно возрастает доля хитов с АЦП-данными. Такой поток данных может вызвать переполнение внутренних буферов в модуле коллектора и заблокировать систему сбора данных. Чтобы этого избежать, используется специальная схема записи событий с АЦП-данными. Для каждой SharpDSP-платы устанавливается счетчик по времени, который увеличивается на 11 мкс для каждой записанной формы сигнала. Сброс счетчика коррелирует со временем считывания данных из платы. Так, если время между двумя последовательными срабатываниями в плате равно 10 мкс, значение счетчика уменьшается на 1 мкс. Если значение счетчика больше 50 мкс, то происходит блокировка записи на время, превышающее это значение. Таким образом одиночные срабатывания с АЦП-данными не подавляются. Описанный алгоритм хорошо работает для загрузок до 30 кГц.

Данные с калориметра в непрерывном режиме просматриваются монитором качества данных. Монитор осуществляет контроль потока и целостности «сырых» данных, визуализацию калиброванных величин (времени и энергии) и контролирует подгонку формы сигнала в SharpDSP-платах. Примеры гистограмм с монитора данных показаны на рис. 2.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая светимость в эксперименте Belle II приводит к росту шумов наложения от низкоэнергетических фотонов. В этой связи была существенно модернизирована электроника калориметра, а также обновлена система сбора данных, способная работать с частотой запуска до 30 кГц вместо 500 Гц в случае Belle. Обновленная система сбора данных является многофункциональной и легко управляемой, а также обеспечивает стабильный поток данных в условиях жесткого ускорительного фона. Данные с калориметра демонстрируют его хорошее разрешение. На рис. 3 показаны распределения по инвариантной массе двух фотонов в областях π^0 - и η -мезонов. Разрешение по массе π^0 составляет около 5.3 МэВ, в то время как для η оно равно 12 МэВ.

Авторы благодарят весь коллектив Belle II калориметра за вклад в успешное функционирование детектора. Работа Д.В.М. поддержана грантом Правительства Российской Федерации № 14.W03.31.0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. Abe *et al.* (Belle Collab.), <https://arxiv.org/abs/1011.0352>
2. В. М. Аульченко, В. Н. Жилич, В. В. Жуланов, А. С. Кузьмин, Д. В. Матвиенко, К. Миябаяши, И. Накамура, Ю. В. Усов, Б. Г. Чуон, Б. А. Шварц, В. Е. Шебалин, *Автометрия* **51**, 39 (2015).
3. S. Longo and J. M. Roney, *JINST* **13**, P03018 (2018).

**DATA ACQUISITION SYSTEM
FOR BELLE II CALORIMETER**

**V. V. Zhulanov^{1),2)}, A. S. Kuzmin^{1),2)}, D. V. Matvienko^{1),2)},
M. A. Remnev^{1),2)}, and Yu. V. Usov^{1),2)}**

*¹⁾Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia*

²⁾Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Electromagnetic CsI(Tl)-calorimeter is one of the central subsystems of the Belle II detector. Its main purpose is the efficient detection of photons in a wide energy range from a few MeV to 7 GeV. A high efficient data acquisition system is required to continuously record signal events with a trigger rate corresponding to the project collider luminosity. The problems, which are solved by such system for the Belle II calorimeter, are described.