

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

**Куденко Юрия Григорьевича**

на диссертационную работу

**Ремнева Михаила Анатольевича**

**«Разработка программного обеспечения для системы сбора данных электромагнитного калориметра детектора BELLE-II»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики**

Диссертационная работа М.А.Ремнева посвящена разработке программного обеспечения для системы сбора данных электромагнитного калориметра эксперимента BELLE-II, в частности систем медленного контроля и мониторинга. При высокой светимости коллайдера СуперКЕКВ возрастает как объем полезных данных, так уровень фона, что потребовало усовершенствования и создания новой электроники электромагнитного калориметра. Поэтому для эксперимента BELLE-II возникла необходимость в разработке нового программного обеспечения для электромагнитного калориметра, что необходимо для управления и стабильного функционирования калориметра, для контроля за качеством данных, для DAQ монитора светимости и для быстрого обнаружения и устранения обнаруженных неисправностей. Успешное решение этой задачи является исключительно важным для успешного проведения эксперимента BELLE-II. Таким образом, **актуальность** данной работы не вызывает сомнений.

**Научная новизна** исследования может быть кратко просуммирована ниже. В результате проведенной работы М.А.Ремневым разработано уникальное программное обеспечение, которое позволяет эффективно считывать и контролировать данные электромагнитного калориметра. В данной работе был впервые разработан модуль экспорта библиотеки C++ в специальный интерпретатор, была разработана библиотека ruNSM2 с использованием программного модуля stypes для быстрого доступа функциям и структурам языка C. Автором впервые разработана система сборки, позволяющая автоматически интегрировать библиотеки, создаваемые на разных языках программирования. Работа, выполненная в диссертации, проводилась с использованием современных многоуровневого программного



обеспечения. Полученные продукты и результаты разработаны и **практически применены** в современном эксперименте мирового уровня BELLE-II. Успешное функционирование установки, эффективный набор данных, постоянный контроль за стабильностью параметра электромагнитного калориметра BELLE-II подтверждают **обоснованность и достоверность полученных результатов**.

Диссертация состоит из введения, восьми глав и заключения.

Во **введении** сформулированы задачи, стоящие перед исследованием, актуальность темы, значимость работы, новизна, изложены методы исследования, представлены результаты, выносимые на защиту, личный вклад соискателя, публикации и апробация работы.

**Первая глава** диссертации посвящена описанию эксперимента BELLE-II. Кратко рассмотрен коллайдер СуперКЕКВ, показано его устройство, представлены параметры электронного и позитронного пучка. Кратко представлены основные элементы детектора BELLE-II. Более подробно рассмотрены конфигурация и основные параметры электромагнитного калориметра на основе кристаллов CsI(Tl), особое внимание уделено электронике калориметра. Также в этой главе описан монитор светимости и система сбора данных и программное обеспечение медленного контроля в BELLE-II.

В **Главе 2** проведен анализ требований к программному обеспечению для накопления данных, изложена специфика BELLE-II для программного обеспечения. Описаны основные функции систем мониторинга и медленного контроля и критерии, которым они должны удовлетворять. Особо выделены задачи монитора светимости. Рассмотрены требования к архитектуре системы и интерфейсу пользователя. Программные средства и их использование проанализированы в конце этой главы.

В **третьей Главе** описано программное обеспечение, которое управляет конфигурациями калориметра. Существуют три типа информации: статические параметры, энергетические пороги и коэффициенты аттенюатора, а также коэффициенты DSP. Конфигурация электромагнитного калориметра включает в себя более 80000 значений. Представлена схема хранимых данных, описан процесс синхронизации энергетических порогов и карты каналов между двумя базами данных. Также описан процесс синхронизации коэффициентов DSP и алгоритм их упаковки.

В **Главе 4** подробно изложена сложная процедура инициализации электроники электромагнитного калориметра, которая должна поддерживать два сценария: программное обеспечение в период набора данных и программное обеспечение во время тестов и технических работ с детектором.



Также описана структура фреймворка для инициализации модулей ECLCollector и Shaper DSP. Приведены детали обработки ошибок, позволяющие улучшить быстродействие на 10%. Была проведена внутренняя оптимизация запросов, что позволило увеличить скорость инициализации на 30%.

**Глава 5** описывает систему медленного контроля и управление заходами электромагнитного калориметра, описан программный модуль на основе программы Selenium, библиотека pyNSM2, представлены вспомогательные программные средства для координации работы дежурных. Также показан графический интерфейс для запусков локальных заходов с электромагнитным калориметром. Описана процедура автоматизации калибровки по тестовому сигналу, реализована отображение графиков временной и амплитудной стабильности каналов, представлен веб сервер экспертов электромагнитного калориметра, реализован оригинальный оконный менеджер, подготовлена детальная документация для дежурных.

**Глава 6** посвящена мониторингу качества данных электромагнитного калориметра. Гистограммы, отображающие качество данных, разделены на три группы: 1 - низкоуровневая информация (загрузка каналов, ширина пьедесталов); 2 - гистограммы с результатами калибровки (энергетическое и временное распределение в калориметре); 3 – гистограммы, отображающие корректность функционирования алгоритма модулей ShaperDSP. Также рассмотрен мониторинг фона инъекции и его влияние на энергетическое и временное разрешение электромагнитного калориметра, показан монитор качества данных, который позволяет контролировать динамику изменения параметров калориметра. Кратко рассмотрена архивация данных мониторинга и оповещение дежурных.

Программное обеспечение для считывания данных с монитора светимости, разработанное соискателем, описано в **Главе 7**. Представлены программные средства для чтения данных с монитора светимости с частотой 1 Гц, расчета интегральной и максимальной светимости, записи данных на диск. Для проверки качества данных с монитора светимости был разработан графический интерфейс пользователя на языке программирования C++. Для тестирования считывания данных монитора светимости был разработан режим эмулятора светимости.

В **Главе 8** описано программное обеспечение для анализа сохраненных данных с электромагнитного калориметра. Представлена процедура временной калибровки с использованием космических частиц и по событиям e+e-рассеяния. Также описан код распаковки событий, в котором удалось повысить быстродействие на 20%. Важным является то, что разработанный код позволяет исключить, а также предоставляет возможность восстановить данные с модулей



с неисправной электроникой. Также описан код, позволяющий ускорить процесс калибровки при анализе большого объема данных и для анализа нелинейности амплитудной шкалы.

В **Заключении** представлены полученные в этой работе результаты и выводы.

Следует особо подчеркнуть наиболее важные результаты этой работы. М.А.Ремневым было разработано программное обеспечение для системы сбора данных электромагнитного калориметра BELLE-II. Им был создан алгоритм упаковки данных, который позволил повысить эффективность сжатия в 3 раза. Была разработана процедура инициализации, которая функционирует независимо от основной системы медленного контроля, был расширен графический интерфейс для запуска калибровок калориметра, была создана отдельная база набранных калибровочных данных. Автором была серьезно улучшена система диагностики для экспертов и дежурных во время проведения сеансов. Важным вкладом в успешное проведение эксперимента является разработка и успешное применение модулей временной калибровки и оптимизации сжатия и распаковки экспериментальных данных.

Из недостатков диссертации можно отметить следующие.

1. Во введении или начале диссертации следовало бы изложить постановку задачи и требования к новому программному обеспечению для сбора данных и медленного контроля электромагнитного калориметра в условиях высокой светимости коллайдера SuperKEKB, а затем в заключении отметить, что эта задача решена. Хотя во введении было упомянуто, что необходимо в новых условиях проводить чтение данных со всех систем детектора с частотой до 30 кГц, в заключении четко не сформулировано, что эта задача выполнена. Тем не менее, следуя результатам работы по главам, можно прийти к выводу, что эта цель была достигнута.

2. Стр.68, рис.27. Это рисунок, как следует из текста, должен показывать средние значения и ширины пьедесталов, но скорее всего он относится к более раннему тексту о загрузке каналов. На рисунке также следовало бы пояснить рост загрузки для каналов 8000 и выше. Скорее всего это относится к кристаллам, расположенным вблизи оси пучка.



3. Стр.69, рис.28. На этом рисунке показано временное распределение в торцах электромагнитного калориметра. Пик, соответствующий времени 0 нс понятен. Однако еще есть 2 пика при -1000 и 1000 нс. Следовало бы пояснить природу этих пиков.

4. Стр.71, рис.31. На этом рисунке показан эффект большого фона в момент инъекции и его влияние на пьедестал, которое проявляется в появлении второго пика. Хотелось бы видеть этот рисунок в случае малого уровня фона. Хотя рис.4 дает представление о такой ситуации, но непонятно, в каких единицах приведена горизонтальная шкала. Что означает «номер точки в форме сигнала», каким временным единицам это соответствует?

5.Стр.84, рис.38. К этому рисунку есть несколько вопросов. В комментарии к этому рисунку написано, что применение временных поправок улучшает временное разрешение на 18%. Однако улучшение гораздо лучше. Также похоже, что это не временное разрешение, а вероятно временной разброс детекторов относительно друг друга. Также непонятно, как после введения поправок была получена величина стандартного отклонения  $\sigma = 77.92$ . Даже «на глаз» видно, что эта величина заметно лучше.

6. Диссертация аккуратно оформлена, содержит четкие рисунки. Но все-таки есть небольшие замечания и по этому вопросу. Например, рисунок 25 на стр.65 очень мал и практически невозможно понять, что на нем показано.

Однако отмеченные выше недостатки не могут изменить положительного впечатления от работы и существенным образом повлиять на общую оценку диссертации, которая представляет собой законченное исследование. Диссертация М.А.Ремнева оставляет хорошее впечатление. Соискатель проделал огромный объем работы и создал современное программное обеспечение. Разработанные им программы, коды используются в реальном действующем эксперименте BELLE-II, позволяют проводить контроль параметров детектора, эффективно производить набор статистики и дальнейший анализ с накопленными данными. Результаты работы опубликованы в ведущих мировых журналах по физике высоких энергий и методике эксперимента, доложены на конференциях. Содержание **автореферата** полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что рассмотренная диссертация Ремнева Михаила Анатольевича «Разработка программного обеспечения для системы сбора данных электромагнитного калориметра детектора BELLE-II» полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Я, Куденко Юрий Григорьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ремнева Михаила Анатольевича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Куденко Юрий Григорьевич

профессор, доктор физ.-мат. наук

(01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц),

Заведующий Отделом физики высоких энергий ИЯИ РАН,

главный научный сотрудник,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт ядерных исследований РАН (ИЯИ РАН)

адрес: 117312 Москва, проспект 60-летия Октября, 7А

тел: +7(495)850-42-48

email: [kudenko@inr.ru](mailto:kudenko@inr.ru)

27 ноября 2023 г.

Куденко Юрий Григорьевич

Подпись Ю.Г. Куденко заверяю

Зам. Директора ИЯИ РАН



Панин Александр Григорьевич