ДОКЛАДЫ АН ВШ РФ

январь–март

№ 1 (50)

2021

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.396.9

СТРУКТУРА И АЛГОРИТМ РАБОТЫ МОДУЛЯ СБОРА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА СУПЕР С-Т ФАБРИКИ

А.А. Глушак^{1,2}

¹ Новосибирский государственный технический университет ²Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Работа посвящена разработке модуля сбора данных электромагнитного калориметра коллайдера Супер с-т фабрики. Модуль сбора данных является одной из основных частей регистрирующей аппаратуры электромагнитного калориметра. Он предназначен для аналоговой и цифровой обработки сигналов сцинтилляционных счетчиков, вычисления их основных характеристик: амплитуды, времени появления и качества подгонки, участвует в запуске работы системы сбора данных детектора. Для создания модуля разрабатывается его прототип, на котором будет произведена отладка работы модуля и выполнена проверка алгоритма работы устройства. Алгоритм работы модуля включает в себя определение характеристик сигналов и формирование пакетов для передачи данных. Характеристики сигнала вычисляются аппроксимацией функцией, определенной либо методом наименьших квадратов, либо методом минимизации функции χ^2 . В ходе математического эксперимента было выявлено, что метод минимизации функции χ^2 дает точность вычислений лучше, чем метод наименьших квадратов, но требует проведения эксперимента со сцинтилляционными счетчиками для определения необходимых коэффициентов. Поэтому в прототипе коэффициенты аппроксимирующей кривой определяются методом наименьших квадратов, а в самом модуле используется метод минимизации функции χ^2 . На основании полученных результатов был составлен алгоритм работы модуля, который после был реализован в программируемой пользователем вентильной матрице Altera Cyclone 10GX.

Ключевые слова: электромагнитный калориметр, система сбора данных, сцинтилляционные счетчики, регистрирующая аппаратура, алгоритм обработки сигналов.

DOI: 10.17212/1727-2769-2021-1-30-40

Введение

Основным инструментом проведения экспериментов по физике высоких энергий являются ускорительные комплексы на встречных пучках. Для их создания применяются последние достижения науки и техники во многих областях. Одной из основных частей ускорительного комплекса является детектор. Он предназначен для регистрации и идентификации частиц, а также определения их основных характеристик: энергии, импульса, траектории движения и других [1]. Для накопления и обработки большого числа данных об исследуемых процессах в детекторах применяются электронные системы регистрации.

Для измерения энергий частиц в детекторах используют калориметрические системы, главной задачей которых являются эффективное поглощение энергии частиц и ее преобразование в пропорциональные электрические сигналы. В электромагнитных калориметрах энергия регистрируемой частицы идет на образование каскадных электромагнитных ливней в материале калориметра. В качестве такого материала используют сцинтилляторы, которые могут быть неорганическими, органическими и газовыми. Преимуществом неорганических кристаллов является высокое время высвечивания (10-1000 нс) [2].

В настоящее время в Институте ядерной физики (ИЯФ) СО РАН работают два электрон-позитронных комплекса со встречными пучками – ВЭПП-4 с детекто-

© 2021 А.А. Глушак

ром КЕДР [3] и ВЭПП-2000 с детекторами КМД-3 [4] и СНД [5]. Во всех трех детекторах есть калориметры на основе неорганических кристаллов. Аппаратуру для работы этих установок разрабатывал и изготавливал коллектив ИЯФ СО РАН. Также на протяжении длительного периода сотрудники ИЯФ в рамках международного сотрудничества участвуют в нескольких экспериментах по физике высоких энергий, в частности с детектором Belle II (коллайдер SuperKEKB, Япония) [6]. Опыт разработки компонентов детекторов используется не только в модернизации существующих, но и в создании новых электрофизических установок.

Проведенные эксперименты на существующих установках показали, что высокие загрузки (0.1 МГц на кристалл) для сцинтилляторов с большим временем высвечивания могут привести к большой вероятности наложения фонового и полезного сигналов. Это происходит из-за увеличения скорости регистрации полезных событий, которое может привести к увеличению вероятности наложения сигналов от соседних по времени событий. В качестве решения этой проблемы было предложено использовать кристаллы с маленьким временем высвечивания, например чистый CsI, с временем высвечивания 30 нс [7].

Быстрые неорганические кристаллы йодистого цезия (CsI) планируется использовать для регистрации и измерения энергии γ -квантов в электромагнитном калориметре ускорительно-накопительного комплекса Супер с-т фабрики [8]. Использование таких кристаллов позволяет предотвратить наложение полезного и фонового сигналов, но и в то же время накладывает жесткие требования на компоненты калориметрической системы, в том числе и на считывающую аппаратуру электромагнитного калориметра. Считывающая аппаратура должна обрабатывать сигналы при высокой частоте появления сигналов (30 МГц) с точностью не менее 10^{-3} .

В связи с этим была поставлена задача разработки модуля сбора данных, удовлетворяющего новым условиям работы с входными сигналами, а также алгоритму взаимодействия с остальными компонентами канала регистрации и всей системой сбора данных в целом.

Стоит отметить, что для разработки модуля сбора данных используется опыт создания регистрирующей электронной аппаратуры детекторов Belle II и СНД. Но в отличие от аппаратуры этих детекторов в модуле сбора данных калориметра Супер с-т фабрики заложены предельные параметры времени формирования сигналов и частоты оцифровки.

1. Структура считывающей аппаратуры калориметра

Система регистрации сигналов сцинтилляционных счетчиков состоит из полупроводникового фотодиода и зарядочувствительного предусилителя (ЗЧУ), которые расположены непосредственно на кристалле формирующего усилителя и аналогово-цифрового преобразователя, вынесенных на отдельную плату. Платы считывающей аппаратуры с быстрыми АЦП расположены в непосредственной близости от кристаллов, что позволяет проводить обработку сигналов сразу после появления события.

Основными задачами разрабатываемой аппаратуры являются формирование сигналов с минимальным уровнем электронного шума, оцифровка сигналов с анализом их формы, формирование пакетов для передачи на следующий уровень системы сбора данных. Техническими особенностями являются следующие.

1. Оцифровка импульсов с кристаллов калориметра длительностью 30 нс производится на частоте 100 МГц.

2. Использование двух диапазонов оцифровки для обеспечения точности определения амплитуды и времени появления сигнала не менее 10⁻³.

3. Алгоритм обработки сигналов должен обеспечивать обработку сигналов с 16 каналов одной платы формирователей-оцифровщиков-анализаторов с частотой появления сигналов не менее 300 кГц.

4. Вклад когерентных шумов при суммировании 16 каналов должен быть существенно ниже некогерентных шумов.

Структура регистрирующей аппаратуры представлена на рис.1. Она состоит из модулей сбора данных (плат формирователей-оцифровщиков-анализаторов, ФОА) и модулей коллекторов. Задачами модулей сбора данных являются формирование и оцифровка сигналов с кристаллов калориметра, анализ формы сигнала и вычисление характеристик: амплитуда, время появления и оценка качества подгонки. Также платы ФОА формируют сигнал для триггера первого уровня L1. Основной задачей коллектора являются получение данных с плат ФОА и их передача на следующий уровень системы сбора данных. Кроме этого, с помощью коллектора синхронизируется работа плат ФОА и выполняется их калибровка.



Puc. 1 – Структура системы сбора данных калориметра *Fig.* 1 – Structure of the data acquisition system of the calorimeter

2. Структура прототипа модуля сбора данных

Для отладки работы модуля сбора данных создается его прототип. Структура четырехканального прототипа модуля сбора данных приведена на рис. 2. С помощью прототипа проводится отладка работы платы и передача данных между модулем сбора данных и коллектором.



Рис. 2 – Блок-схема устройства прототипа модуля сбора данных

Fig. 2 - Block diagram of the data acquisition module prototype

Каждый канал устройства принимает сигналы с предусилителя, которые обрабатываются аналоговым формирователем сигналов – формирующим усилителем. На выходе формирующего усилителя образуются два сигнала с разными коэффициентами передачи для расширения динамического диапазона. Сформированные сигналы оцифровываются 14-битными АЦП LTC2267_14. Далее цифровые сигналы обрабатываются в программируемой пользователем вентильной матрице (ППВМ, FPGA) Altera Cyclone 10GX. Интерфейс передачи данных между ППВМ и модулем коллектора осуществляется передачей данных по оптическому волокну. Управляющие сигналы передаются с помощью интерфейса Ethernet по кабелю с четырьмя витыми парами.

3. Алгоритм определения амплитуды и времени

В модуле сбора данных сигналы со счетчиков CsI непрерывно оцифровываются АЦП. После оцифровки данные записываются в кольцевой буфер и по мере готовности цифрового процессора используются для определения амплитуды и времени появления. Для вычислений используется 31 последовательное значение, где первые пятнадцать значений определяют пьедестал, следующие 16 являются выборками сигнала. Как показано на рис. 3, сигнал условно начинается между 15 и 16 выборкой. Эти значения используются в процедуре подгонки, описанной далее.



Puc. 3 – Выходной сигнал формирующего усилителя *Fig.* 3 – Output signal of the forming amplifier

Аппроксимация сигнала производится одним из двух способов. Первый способ – метод наименьших квадратов [9], второй – метод минимизации функции χ^2 [10]. Если между получаемыми значениями нет корреляции, ошибки имеют гауссовское распределение, то используется метод наименьших квадратов. Аппроксимирующая функция *F* в этом случае имеет вид (1):

$$F = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - (AF(t_i - t_0) + P) \right)^2, \tag{1}$$

где $y_i = AF(t_i - t_0) + P$ – величина выборки; A – амплитуда; P – пьедестал.

Если значения коррелированы, ошибки не имеют гауссова распределения, то лучше для вычисления параметров аппроксимирующей функции использовать метод минимизации функции χ^2 . Функция χ^2 вычисляется по следующей формуле (2):

$$\chi^{2} = (y_{i} - Af(t_{i} - t_{0}) - P)S_{ij}(y_{j} - Af(t_{j} - t_{0}) - P),$$
(2)

где S_{ij} – матрица ошибок. Так как для работы с методом минимизации функции χ^2 требуется получение коэффициентов матрицы ошибок, то в прототипе модуля сбора данных поиск параметров аппроксимирующей функции осуществляется с помощью метода наименьших квадратов. В итоговом модуле сбора данных будет использоваться метод минимизации функции χ^2 .

Для минимизации функции F функция $f(t_i)$ по малому параметру Δt раскладывается в ряд Тейлора до первого порядка (3). Значения f и f' вычислены в делениях сетки и записаны в блок памяти ППВМ. В результате уравнение (2) переписывается в формулу (4), решение которого переписывается в систему из трех уравнений (5). Из нового времени вычисляется следующее приближение и повторяется процесс минимизации.

$$Af(t_{i} - t_{1} - \Delta t) = Af(t_{i} - t_{1}) - A\Delta tf'(t_{i} - t_{1}) = Af(t_{i} - t_{1}) + Bf'(t_{i} - t_{1});$$
(3)

$$F(A,B,P) = \sum_{i,j}^{n} \left(y_i - A f_i^m - B f_i'^m - P \right)^2;$$
(4)

$$\sum y_i f(t_i) - A \sum f(t_i) f(t_i) - B \sum f'(t_i) f(t_i) - P \sum f(t_i) = 0,$$

$$\sum y_i f'(t_i) - A \sum f(t_i) f'(t_i) - B \sum f'(t_i) f(t_i) - P \sum f'(t_i) = 0,$$
 (5)

$$\sum y_i - A \sum f(t_i) - B \sum f'(t_i) - PN = 0.$$

Для проверки правильности вычисления коэффициентов аппроксимирующей кривой и оценки точности работа алгоритмов вычисления методом наименьших квадратов и методом минимизации функции χ^2 была промоделирована с помощью математического пакета MATLAB (студенческая версия). Для оценки погрешности параметров использовался метод Монте-Карло [11]. Результаты работы метода Монте-Карло были отсортированы с помощью программы Excel, после которого были проанализированы с помощью метода гистограмм [12].

На рис. 4 и 5 приведены гистограммы выборочного распределения погрешности расчета амплитуды и времени появления зашумленных сигналов. Неточности приведенных гистограмм имеют нормальное распределение. Точность расчета амплитуды для первой гистограммы рис. 4 составляет 0,01 В, для второй – 0,01 В. Точность расчета времени появления для первой гистограммы рис. 5 составляет 0,218 нс, для второй – 1,15 нс. Результаты исследования показали, что оба метода дают хорошую точность расчета, но для реальных сигналов лучше использовать метод минимизации функции χ^2 . Также было установлено, что трех итераций достаточно для завершения процесса минимизации.

Найденные параметры A, B, P могут быть представлены как сумма оцифрованных значений y_i , умноженных на соответствующие коэффициенты (6). Коэффициенты a_i, b_i, p_i – коэффициенты, которые будут записаны в блок памяти ППВМ. Они определяются из их вклада в сумму соответствующего параметра. Так, для определения параметра A вклад первых 15 значений будет минимальным, и он не учитывался. Для параметра B необходим учет производной аналитической формулы сигнала, поэтому вклад в сумму будут давать с 16 по 32 значения. Для параметра P веса каждого элемента выборки одинаковы:

$$A = \sum a_i y_i$$

$$B = \sum b_i y_i \Longrightarrow t_0 = \frac{-B}{A}$$

$$P = \sum p_i y_i$$
(6)



Рис. 4 – Гистограммы выборочного распределения погрешности расчета амплитуды:

a – расчет методом наименьших квадратов;
 δ – расчет методом минимизации функци
и χ^2

Fig. 4 – Sample distribution histograms for the amplitude calculation inaccuracy: *a* – is amplitude calculation by the method of least squares; *b* – is amplitude calculation by the method of minimizing χ^2 function



Рис. 5 – Гистограммы выборочного распределения погрешности расчета времени появления:

a – расчет методом наименьших квадратов; δ – расчет методом минимизации функции χ^2 *Fig.* 5 – Sample distribution histograms for the calculation inaccuracy of time appearance:

a – is calculation by the method of least squares; b – is calculation by the method of minimizing χ^2 function

Для оценки качества подгонки обычно используют либо сумму квадратов из-за ошибки (SSE), либо вычисление коэффициента *R*-квадрат [13]. *R*-квадрат выглядит наиболее привлекательным критерием для оценки качества подгонки, но в данной работе не применим из-за большого числа вычисляемых значений. Поэтому оценка качества подгонки вычисляется как сумма квадратов из-за ошибки (SSE).

Оценка качества подгонки в FPGA производится следующим образом. После вычисления коэффициентов *A*, *B*, *P* вычисляется подгонка согласно формуле (7).

$$Q = \sum_{i=1}^{n} (y_i - Af(i) - Bf'(i) - P)^2.$$
⁽⁷⁾

Эта величина сравнивается с ожидаемой $Q = (\alpha + \beta)A^2$, где α , β – коэффициенты, определяемые из данных, при их вычислении учитываются свойства регистрирующей аппаратуры калориметра (нелинейность, шум). Когда амплитуда сигнала мала, отклонения описываются шумом электронных устройств, при больших значениях амплитуды – нелинейностью.

Далее представлены некоторые детали аппаратной реализации вычислений в модуле сбора данных.

4. Реализация алгоритма работы модуля с помощью ППВМ

После разработки алгоритма обработки значений со счетчиков CsI и отладки вычислений с помощью математического моделирования алгоритм был адаптирован для вычисления в ППВМ. На рис. 6 представлена блок-схема проекта цифровой обработки сигналов для прототипа.



Puc. 6 – Проект цифровой обработки сигналов *Fig.* 6 – Digital signal processing project

Данные с АЦП в последовательном виде поступают на вход ППВМ, где они переписываются в параллельный код и записываются в кольцевой буфер, емкость которого составляет 1024 слова для каждого канала. В буфере данных есть генератор адресов, с помощью которого определяются адреса, по которым уже записаны данные.

Когда появляется сигнал первичного триггера, коллектор передает через приемопередатчик в блок управления данными сигнал первичного триггера и номер сработавшего триггера. Блок управления данными обрабатывает полученный пакет и запускает работу генератора адресов в кольцевом буфере и определяет очередность обработки каналов в вычислителе. Перед обработкой сигналов в вычислителе данные фильтруются с помощью монитора данных. Сигналы, не превышающие заданного порога, отбрасываются. После этого пакет оцифрованных значений по сигналу готовности вычислителя передается в блок вычислителя, где определяются характеристики сигналов (амплитуда, время появления и качество подгонки). Затем данные упаковываются и передаются в приемопередатчик, с помощью которого они передаются в коллектор.

На рис. 7 представлена структура проекта обработки данных в ППВМ Altera Cyclone 10GX. На вход ППВМ в последовательном виде подаются двухфазные сигналы с АЦП (dco, frame, out_a_1, out_a_2, out_b_1, out_b_2), где они в приемниках-преобразователях inp_buf_clk и in_buf (расположен в канале подготовки данных) преобразуются в однофазные сигналы. Далее в блоке channel_config по появлению сигнала триггерной системы блока coll_rec сигналы out_a_1, out_a_2, out_b_1, out_b_2 предварительно обрабатываются и записываются в буфер FIFO в блоке управления данными (data_manager). По мере готовности вычислителя DSP (dsp_block) сигналы передаются в блок вычислителя, где с помощью коэффициентов, записанных в блок памяти соеf_memory, определяются характеристики сигналов (A, t_0 , Q, P). После этого характеристики вместе с маской сработавших каналов передаются в блок phy_packer, где формируется пакет для передачи данных по оптической линии. Блок coll rec обрабатывает пакеты данных с коллектора.



Puc. 7 – Структура обработки сигналов в ППВМ *Fig.* 7 – Structure of signal processing in FPGA

Проект вычисления характеристик сигнала был написан на языке описания аппаратуры VHDL в программном обеспечении Quartus Prime Pro, промоделирован и отлажен с помощью среды ModelSim INTEL FPGA STARTER EDITION. На данный момент ведется разработка интерфейсов передачи данных по оптическому волокну и JTAG интерфейсу.

Заключение

Для электромагнитного калориметра детектора нового коллайдера Супер с-т фабрики разрабатывается новый модуль сбора данных. Он строится на базе конвейерной архитектуры в соответствии с требованиями, предъявляемыми к считывающей аппаратуре калориметра и системе сбора детектора в целом.

На данный момент ведется работа по разработке прототипа модуля сбора данных. Ожидается изготовление электронных схем модулей, на данный момент ведется разработка программного обеспечения и его отладка с помощью компьютерного моделирования и симулирования.

Опыт разработки модуля сбора данных может использоваться в действующих и будущих ускорительно-накопительных комплексах, в которых предполагается использование быстрых кристаллов в электромагнитных калориметрах.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Групен К. Детекторы элементарных частиц. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с.
- 2. Онучин А.П. Экспериментальные методы ядерной физики: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 220 с.
- 3. Триггер детектора КЕДР / С.Е. Бару, А.А. Талышев, В.И. Тельнов, Ю.Г. Украинцев, Ю.В. Усов, Л.И. Шаманаева, А.Г. Шамов // Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 46–61.
- 4. Архитектура системы регистрации и запуска детектора КМД-3 / В.М. Аульченко, Д.А. Епифанов, А.Н. Козырев, И.Б. Логашенко, А.С. Попов, А.А. Рубан, А.Н. Селиванов, А.А. Талышев, В.М. Титов, Ю.В. Юдин, Л.Б. Эпштейн // Автометрия. 2015. Т. 51, № 1. С. 31–38.
- Программное обеспечение системы сбора данных детектора СНД / М.Н. Ачасов, А.Г. Богданчиков, В.П. Дружинин, А.А. Король. – Новосибирск, 2003. – 31 с. – (Препринт / Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН; ИЯФ 2003-39).
- 6. Шебалин В.Е. Электромагнитный калориметр детектора Belle-II // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2018. – Т. 49, вып. 4. – С. 1392–1400.
- Прохорова Е.С. Разработка прототипа электромагнитного калориметра на основе сцинтилляционных кристаллов CsI и кремниевых лавинных фотодиодов для Супер Чарм-тау фабрики: ВКР бакалавра / Новосибирский государственный университет. – Новосибирск, 2018. – 33 с.
- Супер Чарм–Тау фабрика. Концептуальный проект. Ч. 1 (физическая программа, детектор) / В.В. Анашин, А.В. Анисёнков, В.М. Аульченко и др. Новосибирск: ИЯФ СО РАН, 2018. 136 с.
- Гринкевич В.А. Идентификация устройства на основе элемента Пельтье методом наименьших квадратов // Доклады АН ВШ РФ. – 2020. – № 1–2 (46–47). – С. 17–27. – DOI: 10.17212/1727-2769-2020-1-2-17-27.
- 10. Лемешко Б.Ю. Критерий согласия типа хи-квадрат при проверке нормальности // Измерительная техника. 2015. № 6. С. 3–9.
- Семенов К.К. Достоверность результатов применения метода Монте-Карло в задачах интервального анализа // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21, № 2. – С. 42–52.
- Солонин С.И. Метод гистограмм: учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 98 с.
- 13. **Миронов Э.Г., Ордуянц Г.Ж.** Новый метод погрешностей средств измерений // Ural Radio Engineering Journal. 2017. Т. 1, № 1. С. 120–126.

STRUCTURE AND OPERATION ALGORITHM OF THE DATA COLLECTION MODULE OF THE SUPER C-T FACTORY ELECTROMAGNETIC CALORIMETER

Glushak A.A.^{1,2}

¹Novosibirsk State Technical University ²Budker Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

The study is devoted to the development of a data collection module of the electromagnetic calorimeter of the Super c- τ factory collider. The data collection module is one of the main parts of the data acquisition system of the electromagnetic calorimeter. It is designed for analog and digital signal processing of scintillation counters, calculating its main characteristics (amplitude, time of occurrence and quality of fitting), and participates in the launch of the detector data acquisition system. A prototype of the module on which the module will be debugged and the algorithm of the device will be checked is being developed. The algorithm of the module includes the calculation of signal characteristics and the formation of packets for data transmission. Signal characteristics are calculated by approximating a function defined either by the least squares method or by the method of χ^2 function minimization. In the course of a mathematical experiment, it was found that the method of χ^2 function minimization gave more accurate calculation values than the least squares method. However, it requires an experiment with scintillation counters to determine the necessary coefficients. Therefore, the coefficients of the approximating curve are determined by the least squares method in the prototype and the method of χ^2 function minimization is used in the module. Based on the results obtained, an algorithm of the module operation was compiled, which was then implemented in the field-programmable gate array Altera Cyclone 10GX.

Keywords: electromagnetic calorimeter, data acquisition system, scintillation counters, least squares method, method of χ^2 function minimization.

DOI: 10.17212/1727-2769-2021-1-30-40

REFERENCES

- Grupen C. Particle detectors. Cambridge, Cambridge University Press, 1996 (Russ. ed.: Grupen K. Detektory elementarnykh chastits. Novosibirsk, Sibirskii khronograf Publ., 1999. 408 p.).
- 2. Onuchin A.P. *Eksperimental'nye metody yadernoi fiziki* [Experimental methods of nuclear physics]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2010. 220 p.
- 3. Baru S.E., Talyshev A.A., Telnov V.I., Ukraintsev Yu.G., Usov Yu.V., Shamanaeva L.I., Shamov A.G. Trigger detektora KEDR [Trigger of the KEDR detector]. *Pribory i tekhnika eksperimenta = Instruments and Experimental Techniques*, 2011, no. 3, pp. 46–61. (In Russian).
- 4. Aulchenko V.M., Epifanov D.A., Kozyrev A.N., Logashenko I.B., Popov A.S., Ruban A.A., Selivanov A.N., Talyshev A.A., Titov V.M., Yudin Y.V., Epshteyn L.B. Arkhitektura sistemy registratsii i zapuska detektora KMD-3 [Architecture of the registration and triggering system of the KMD-3 detector]. Avtometriya = Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2015, vol. 51, no. 1, pp. 31–38. (In Russian).
- Achasov M.N., Bogdanchikov A.G., Druzhinin V.P., Korol' A.A. Programmnoe obespechenie sistemy sbora dannyh detektora SND [Software of the SND detector data collection system]. Novosibirsk, Budker Institute of Nuclear Physics, 2003. 31 p.
- 6. Shebalin V.E. Elektromagnitnyi kalorimetr detektora Belle-II [Electromagnetic calorimeter of Belle-II detector]. *Fizika elementarnykh chastits i atomnogo yadra = Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei*, 2018, vol. 49, iss. 4, pp. 1392–1400.
- 7. Prokhorova E.S. *Razrabotka prototipa elektromagnitnogo kalorimetra na osnove stsintillyatsionnykh kristallov CsI i kremnievykh lavinnykh fotodiodov dlya Super Charm-tau fabriki* [Development of a prototype of an electromagnetic calorimeter based on CsI scintillation crys-

tals and silicon avalanche photodiodes for the Super Charm-Tau factory]. Final qualifying work: bachelor's degree. Novosibirsk State University, 2018. 33 p.

- Anashin V.V., Anisenkov A.V., Aul'chenko V.M., et al. Super Charm-Tau fabrika. Kontseptual'nyi proekt. Ch. 1 (fizicheskaya programma, detektor) [Super Charm – Tau Factory. Conceptual project. Pt. 1 (physical program, detector)]. Novosibirsk, INP SB RAS Publ., 2018. 136 p.
- Grinkevich V.A. Identifikatsiya ustroistva na osnove elementa Pel't'e metodom naimen'shikh kvadratov [The identification of a device based on a Peltier element by the least squares method]. Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences, 2020, no. 1–2 (46–47), pp. 17–27. DOI: 10.17212/ 1727-2769-2020-1-2-17-27.
- Lemeshko B.Yu. Kriterii soglasiya tipa khi-kvadrat pri proverke normal'nosti [A chi-square goodness-of-fit criterion for checking normality]. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring Techniques*, 2015, no. 6, pp. 3–9. (In Russian).
- Semenov K.K. Dostovernost' rezul'tatov primeneniya metoda Monte-Karlo v zadachakh interval'nogo analiza [Reliability of the results of using the Monte Carlo method in problems of interval analysis]. *Vychislitel'nye tekhnologii = Computational Technologies*, 2016, vol. 21, no. 2, pp. 42–52.
- 12. Solonin S.I. *Metod gistogramm* [Method of histograms]. Educational electronic text edition. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2014. 98 p.
- 13. Mironov E.G., Orduyants G.Zh. Novyi metod pogreshnostei sredstv izmerenii [New statistical approach to the valuation of measuring instruments errors]. *Ural Radio Engineering Journal*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 120–126.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Глушак Анастасия Андреевна – родилась в 1997 году, старший лаборант сектора 3-12 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, магистрант кафедры электрофизических установок и ускорителей НГТУ. Опубликовано пять научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11. Е-mail: aaglushak@mail.ru).

Glushak Anastasia Andreevna (b. 1997) – a senior laboratory assistant of the sector 3-12 BINP SB RAS, a master's student at the department of electrical installations and accelerators, NSTU. She is the author of 5 scientific papers. (Address: 11, Academician Lavrentyev Prospekt, Novosibirsk, 630090, Russia, E-mail: aaglushak@mail.ru).

Статья поступила 04 января 2021 г. Received January 04, 2021

To Reference:

Glushak A.A. Struktura i algoritm raboty modulya sbora dannykh elektromagnitnogo kalorimetra Super c- τ fabriki [Structure and operation algorithm of the data collection module of the Super c- τ factory electromagnetic calorimeter]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2021, no. 1 (50), pp. 30–40. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-1-30-40.