



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2009-19
ОЭФ

А.А. Волков, А.Ю. Калинин, А.В. Кораблёв, А.Н. Криницын,
В.И. Крышкин, В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович

АДРОННЫЕ КАЛОРИМЕТРЫ УСТАНОВКИ ФОДС

Направлено в *ИТЭ*

Протвино 2009

Аннотация

Волков А.А. и др. Адронные калориметры установки ФОДС: Препринт ИФВЭ 2009-19. – Протвино, 2009. – 10 с., 9 рис., библиогр.: 4.

Описывается конструкция адронных калориметров установки ФОДС, процедура калибровки и результаты исследования их характеристик на электронных и адронных пучках.

Abstract

Volkov A.A. et al. FODS hadron calorimeters: IHEP Preprint 2009-19. – Protvino, 2009, – p. 10, figs. 9, refs.: 4.

There is described the design of the FODS hadron calorimeters, the procedure of the calibration and the results of the calorimeter study with electron and hadron beams.

Введение

Для исследования образования частиц с большими поперечными импульсами в адрон-адронных взаимодействиях при энергии 70 ГэВ создана установка – Фокусирующий Двухплечевой Спектрометр (ФОДС-2) [1], в котором в триггере участвуют адронные калориметры. За время эксплуатации установки (~ 20 лет) световыход сцинтиллятора калориметра и эффективность переизлучения оптического волокна упали ниже допустимого уровня. Поэтому были заменены активные элементы калориметра с использованием прежней конструкции поглотителя.

1. Конструкция калориметра

Поглотитель адронного калориметра изготовлен из стали (рис. 1). Он состоит из 38 необработанных листов толщиной 25 мм, приваренных сверху и снизу для фиксации положения к пластинам. Расстояние между листами – 9 мм.

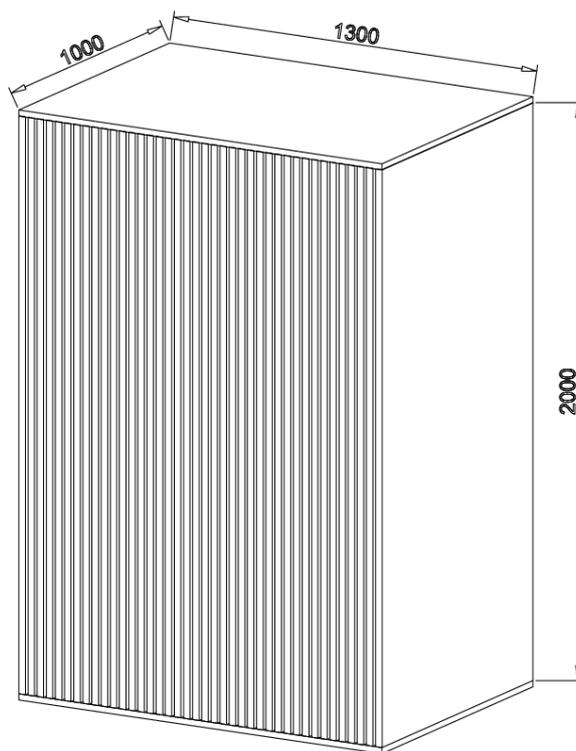


Рис. 1. Структура поглотителя адронного калориметра.

Поглотитель с одной стороны закрыт тонким металлическим листом для свето-изоляции, а с другой стороны имеется двустворчатая дверь для доступа к активным элементам. Поглотитель установлен на платформу,двигающуюся по рельсам с помощью электропривода. Общий вес калориметра – около 16 т.

Структура первоначальных активных элементов основывалась на принципе, изложенном в [2], и предусматривала измерение суммарного сигнала для выработки триггера и одновременно башенную структуру для измерения координаты и энергии частицы.

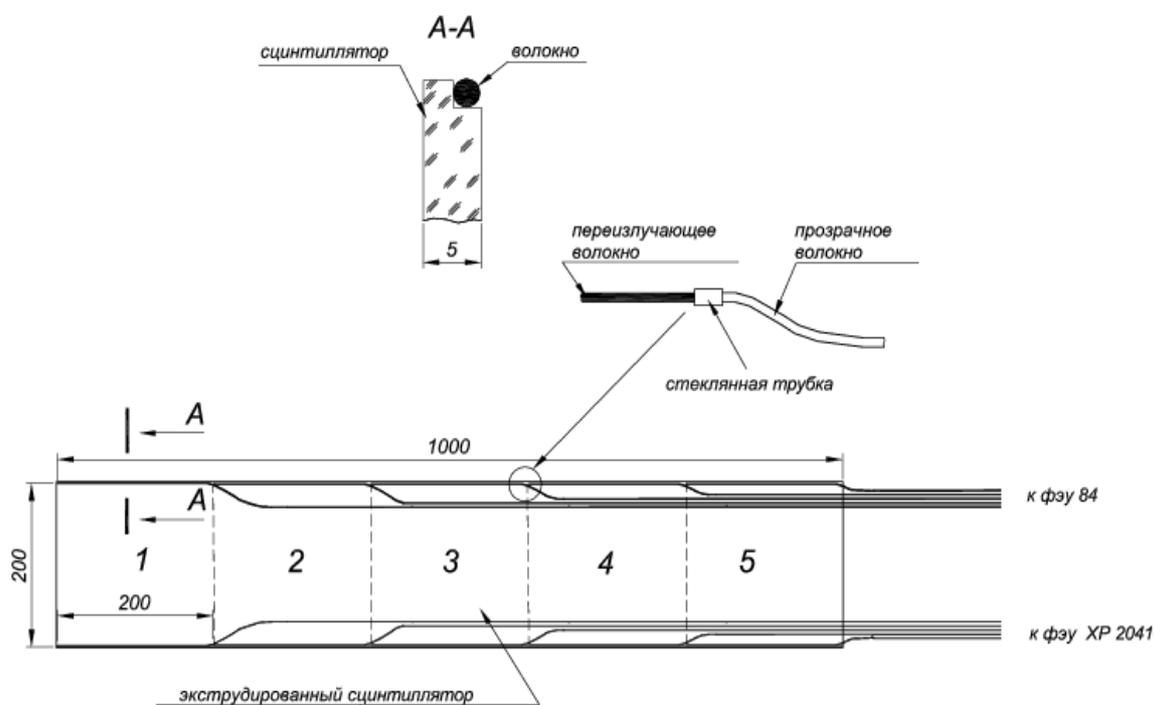


Рис. 2. Активный элемент адронного калориметра.

Как показано на рис. 2, экструдированный сцинтиллятор длиной 100 см имел по краям вдоль длинной стороны уступ, в который вкладывалось оптическое волокно диаметром 1 мм с переизлучателем длиной 20 см. Один конец волокна покрывался алюминием, а другой склеивался в стеклянной трубке с прозрачным волокном. Сцинтиллятор оборачивался алюминизированным майларом. Волокна с одной стороны сцинтиллятора группировались в соответствующие башни (5 башен по горизонтали и 10 рядов по высоте), а все волокна с другой стороны объединялись на фотокатоде

фотоэлектронного умножителя (ф.э.у.) типа XP 2041 для выработки быстрого сигнала триггера. 5 волокон с одной грани для выработки триггера использовалось для уменьшения неоднородности светосбора, поскольку прозрачность волокна была невысока. В башнях использовались ФЭУ-84-3.

На рис. 3 показана разводка волокон для одного слоя. На два калориметра потребовалось около 15 км оптического волокна, которое было изготовлено в НИИ «Полимер» Горьковской области.

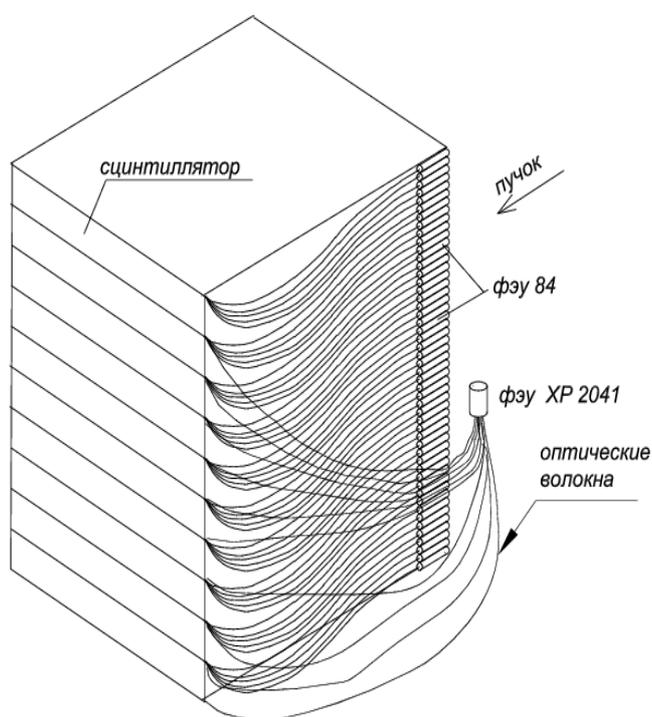


Рис. 3. Структура калориметра. Показаны оптические волокна для одного слоя.

Для физической программы ФОДС-2 информация с башен калориметра при измерении импульса и траектории заряженной частицы оказалась невостребованной. Поэтому при модернизации калориметров был разработан новый оптический элемент, основанный на литевом сцинтилляторе и использовании оптического волокна с высокой прозрачностью и эффективностью переизлучения, что позволило сократить общее количество волокна.

На рис. 4 показан оптический элемент, состоящий из 5 сцинтилляторов размером $192,5 \times 194 \times 3,4$ мм³. Посередине сцинтиллятора имеется канавка глубиной 1,2 мм и шириной 1,1 мм, дно ее имеет цилиндрическую поверхность. В канавку вкладывалось оптическое волокно с перизлучателем Y11 [3] диаметром 1 мм и длиной 2,3 м. Торцы волокна фрезеровались алмазной фрезой и один торец покрывался алюминием. Сцинтилляторы с волокном оборачивались отражающей плёнкой Tyvek [4], которая одновременно создавала дополнительную жесткость элемента.

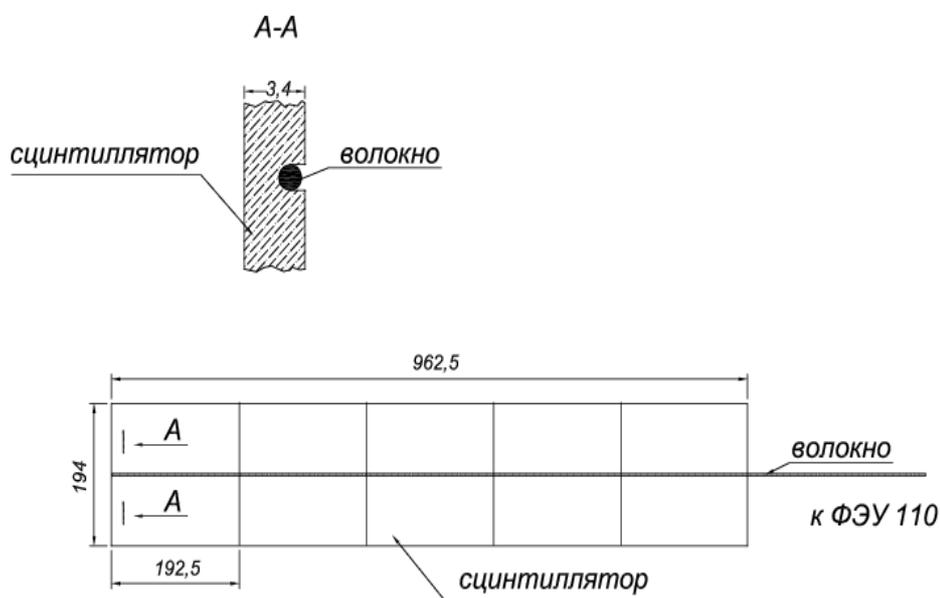


Рис. 4. Новый активный элемент адронного калориметра.

Однородность светосбора элемента исследовалась с помощью коллимированного радиоактивного источника по регистрации тока с ФЭУ-85, имеющего контакт с торцом волокна. На рис. 5а показана зависимость сигнала от положения радиоактивного источника на сцинтилляторе в поперечном направлении. Для уменьшения неоднородности изучались различные варианты корректировки светосбора. Зависимость, изображенная кружками, соответствует варианту без корректирующих элементов, нижняя (квадраты) – когда на сцинтиллятор под канавкой приклеивалась чёрная полимерная лента шириной 4 мм, а треугольники – окончательно выбранному, исходя из простоты реализации и долговременной стабильности. При этом для каждого сцинтиллятора под канавкой на отражающую пленку наносилась черная полоса, а для улучшения продольной

однородности элемента ширина ее увеличивалась от дальнего к ближнему к ф.э.у. сцинтиллятору с 3 до 6 мм.

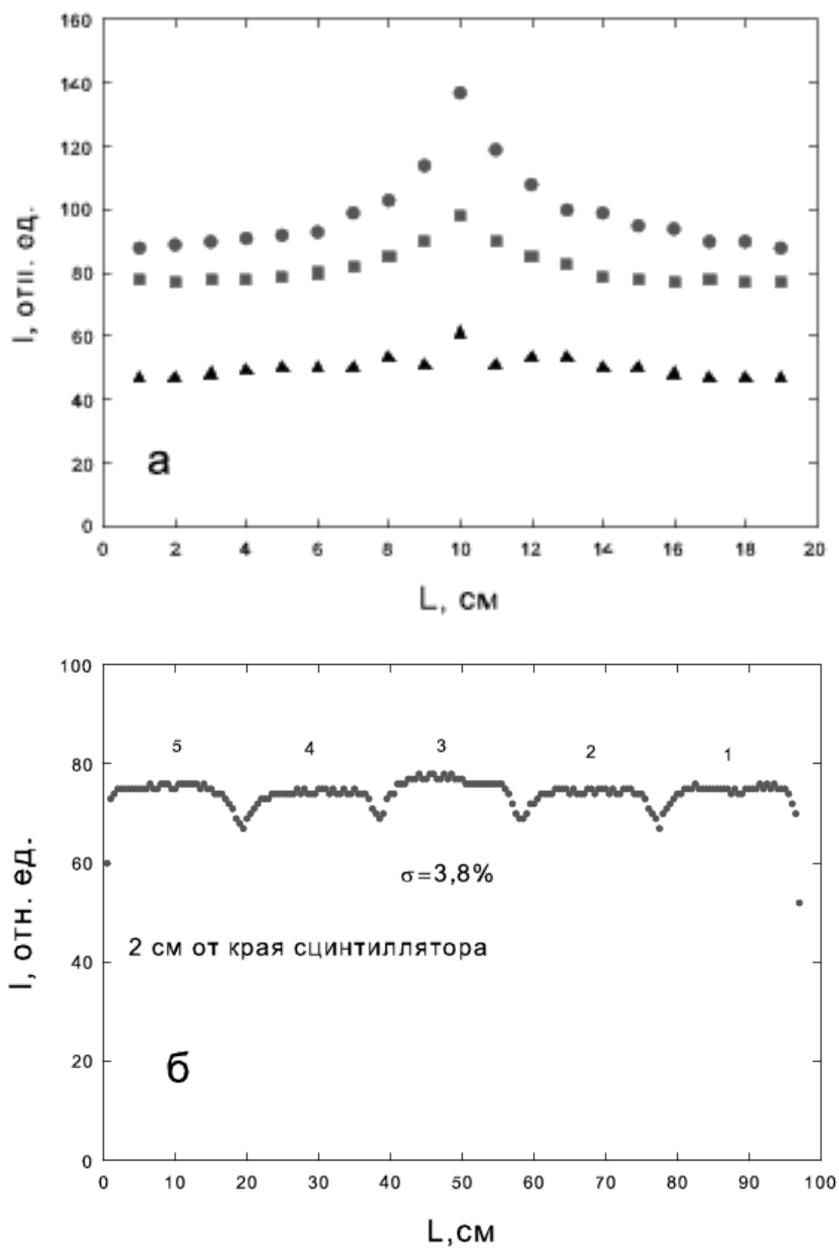


Рис. 5. Световыход активного элемента калориметра.

Окончательная корректировка продольной однородности производилась нанесением на отражающую пленку черной полосы шириной 0,5 и 0,3 мм напротив боковых торцов ближайшего к ф.э.у. и следующего за ним сцинтилляторов соответственно. На рис. 5б показана продольная однородность элемента для выбранного варианта светосбора. На границе между сцинтилляторами происходит падение сигнала, которое трудно исправить с помощью маски. Окончательный вариант оптического элемента имеет равномерность светосбора не хуже 7 % (среднеквадратичное отклонение).

Для модернизации калориметров ФОДС в ИФВЭ была спроектирована литьевая форма и изготовлены более 3000 сцинтилляторов. Собранные из них активные элементы изучались на стенде с радиоактивным источником и оптимизировались по световыходу. Отобранные 560 элементов были разбиты на 2 группы и установлены в поглотители калориметров (рис. 6). В каждом калориметре все оптические волокна объединены в одну сборку диаметром около 18 мм, которая совмещалась с участком фотокатода ФЭУ-110, где его чувствительность была не ниже 95% от максимальной. Сигнал с анода ф.э.у. через линейный разветвитель подавался на вход АЦП и на дискриминатор для выработки триггерного сигнала на энергию выше заданного порога.

Такая конструкция имеет высокое быстродействие при выработке триггера и простую систему калибровки. Для отслеживания нестабильности усиления свет от светодиода, излучающего в зеленой области спектра, по оптическому волокну подавался на фотокатод ф.э.у. калориметра.

Заполнены были 28 слоёв поглотителя из 37. Это соответствует 4 ядерным длинам и 95% поглощения энергии адрона с импульсом 10 ГэВ/с. Итоговая неравномерность отклика калориметра по объему не превышает 10%. Энергетическое разрешение калориметра не является важным фактором, поскольку перед калориметрами установлены спектрометры колец черенковского излучения, содержащие довольно много вещества (от 0,2 до 0,6 ядерных длин поглощения в апертуре диаметром около 1 м).

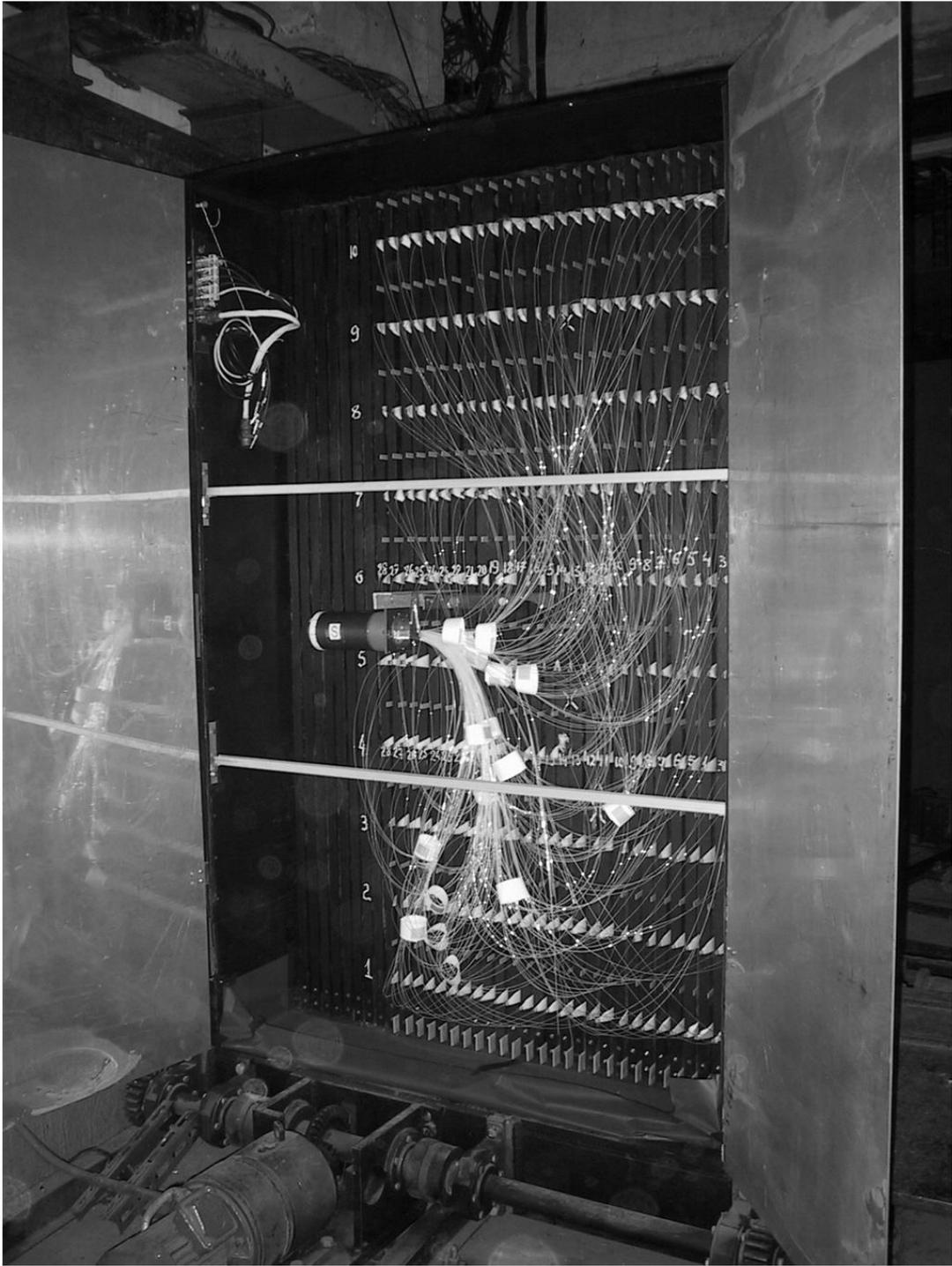


Рис. 6. Фотография адронного калориметра с открытыми боковыми крышками.

2. Калибровка калориметра

Калибровка проводилась на вторичном пучке отрицательно заряженных частиц (10, 20, 30 ГэВ), пучке протонов (50 ГэВ) и пучке электронов (10 и 20 ГэВ). Калориметр устанавливался на оси пучка (рис. 7), а магнит поворачивался так, что пучок проходил через апертуру одного из плеч. Триггером являлись совпадения счётчиков $S_1S_2S_3S_4$ и для выделения мюонов – $S_1S_2S_3S_4S_5$.

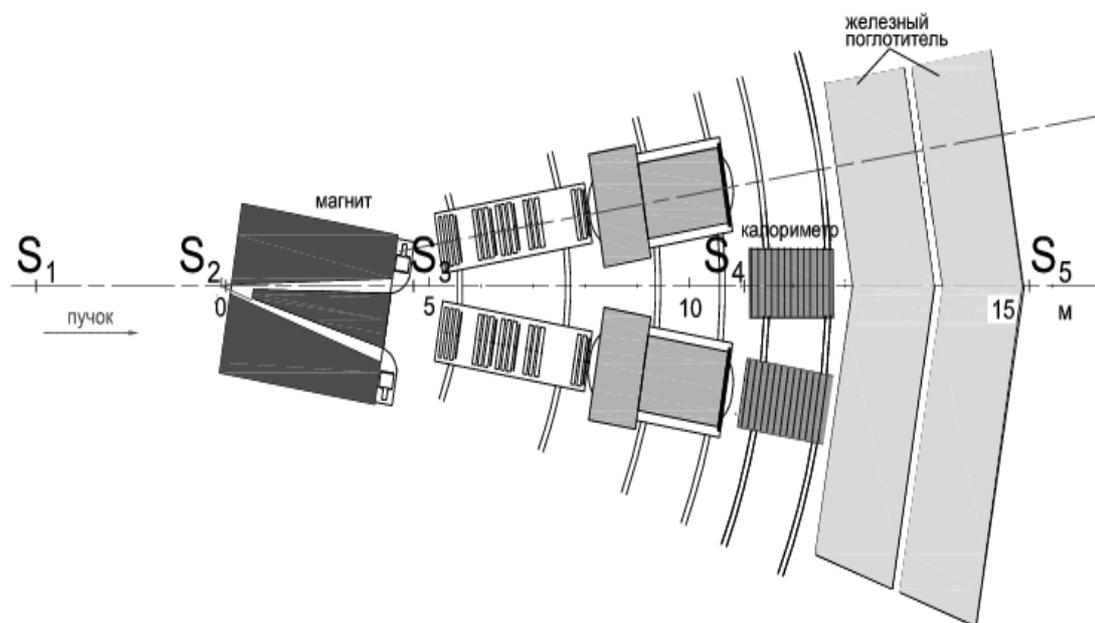


Рис. 7. Схема калибровки калориметра. S_i – сцинтилляционные счётчики.

Сигнал с ф.э.у. калориметра подавался на вход АЦП. Время интегрирования сигнала было 100 нс. На рис. 8а показано распределение амплитуд для мюонного триггера. Описывая левый склон спектра распределением Гаусса, можно оценить число зарегистрированных фотоэлектронов. Для данного распределения оно равно 20.

На рис. 8(б,в,г) показаны амплитудные распределения при регистрации адронов и электронов (пучки с примесью мюонов). При импульсе адронов 10 ГэВ/с энергетическое разрешение калориметра равно 21,5% и соответствует, в основном, вкладу сэмпинга. При увеличении энергии адрона увеличивается несимметрия распределения, что связано с ростом утечек для адронного ливня. Для электронов форма распределе-

ний симметрична, энергетическое разрешение равно 14 и 10% для 10 и 20 ГэВ соответственно. Амплитуда сигнала от мюона в калориметре соответствует энергии 1,32 ГэВ/с. Отношение ϵ/h для калориметра равно 1,04.

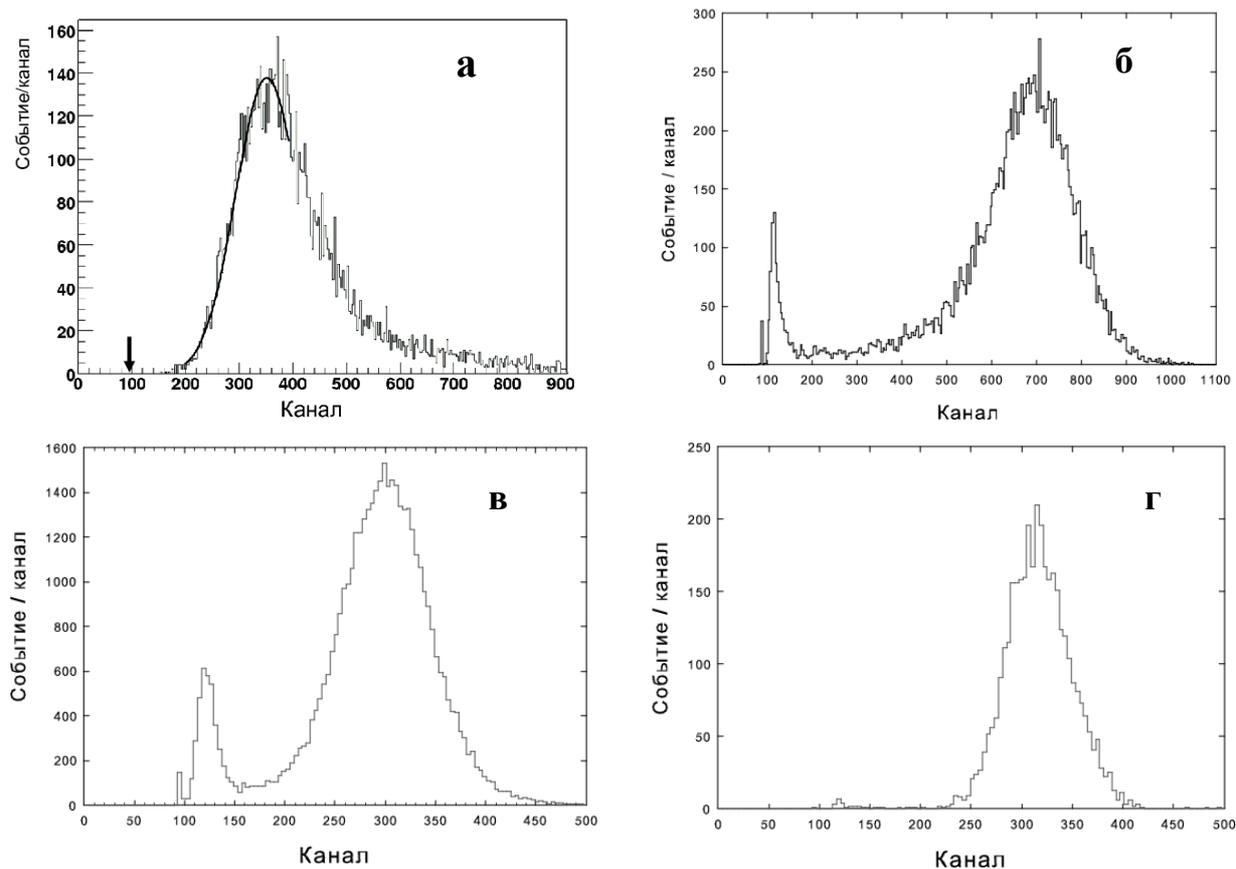


Рис. 8. Амплитудные спектры сигналов с адронного калориметра: а) для мюонного триггера, пьедестал указан стрелкой; б) и в) для частиц вторичного пучка с импульсом 30 и 10 ГэВ/с соответственно; г) для пучка электронов с импульсом 10 ГэВ/с.

На рис. 9 показан отклик калориметра для адронных ливней в зависимости от энергии пучка. По вертикальной оси отложена амплитуда в максимуме распределения для адронов, нормированная на мюонную амплитуду.

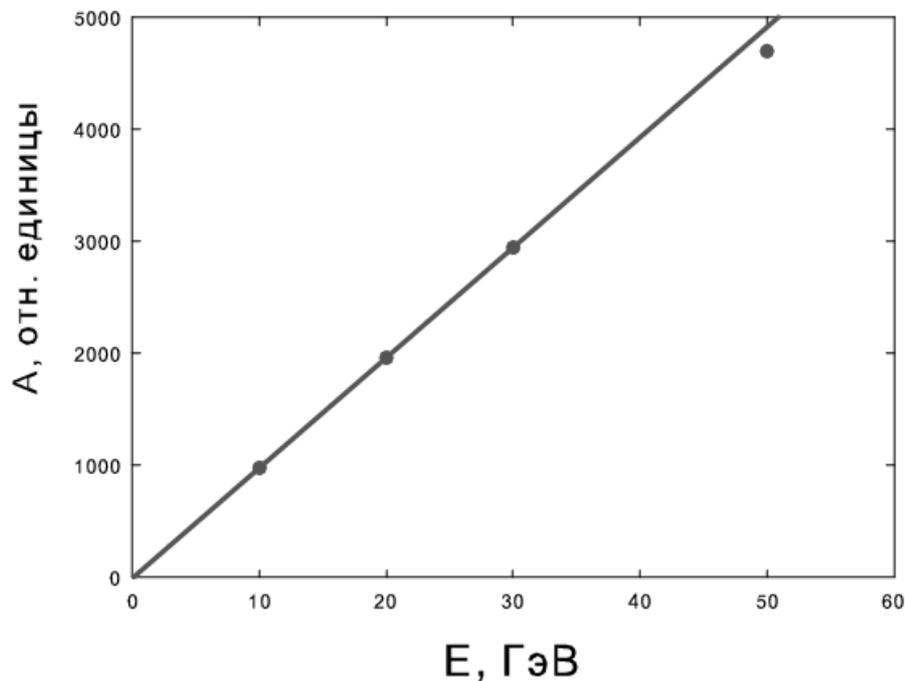


Рис. 9. Отклик калориметра в зависимости от энергии адронов.

Заключение

Для выработки триггера на энерговыделение реконструированы адронные калориметры, в которых свет со сцинтилляторов собирается переизлучающими волокнами на один фотоэлектронный умножитель. Калориметры отличаются простотой конструкции, легкостью калибровки и быстротой выработки триггера. Отклик калориметра линеен в диапазоне энергий частиц, регистрируемых на установке ФОДС.

Список литературы

- [1] Абрамов В.В., Алексеев А.В., Балдин Б.Ю. и др.// ПТЭ, 1992, т. 6, с. 75.
- [2] Бузулуцков А.Ф., Гуржиев А.Н., Крышкин В.И. и др.// ПТЭ, 1993, т. 4, с. 55.
- [3] Kuraray Co., LTD., 8F, Maruzen building, 3-10, 2-Chome, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo, 103-0027, Japan.
- [4] Тувек В1060 (торговая марка компании DuPont). Сплошные волокна формируют белый полиэтилен высокой плотности.

Рукопись поступила 18 ноября 2009 г.

А.А. Волков и др.

Адронные калориметры установки ФОДС.

Редактор Л.Ф. Васильева.

Подписано к печати 20.11.2009. Формат 60 × 84/16. Офсетная печать.

Печ. л. 0,75. Уч.- изд. л. 1,2. Тираж 80. Заказ 51. Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2009-19, ИФВЭ, 2009
