

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ - ОЭФ - 91 - 10

И Ф В Э 91-10

ОЭФ

Б.Д.Балдин, А.А.Волков, В.Д.Глебов,
В.Н.Евдокимов. М.С.Ильевский

**УСТРОЙСТВО БЫСТРОГО ТРИГГЕРА
НА БАЗЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТАБЛИЦ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ МНОЖЕСТВЕННОСТИ
РЕГИСТРИРУЕМЫХ СОБЫТИЙ**

**Часть 2. Устройство детекторов
и экспериментальные результаты**

Направлено в ПТЭ

Протвино 1991

Аннотация

Балдин Б.Ю. и др. Устройство быстрого триггера на базе параллельных таблиц решений для работы в условиях повышенной множественности регистрируемых событий: Часть 2. Устройство детекторов и экспериментальные результаты: Препринт ИФЭЭ 91-10. - Протвино, 1991. - 14 с., 8 рис., 1 табл., библиогр. 3.

Описано устройство выработки быстрого триггера на основе параллельных таблиц решений. Устройство разработано для использования совместно с тремя трековыми детекторами (годоскопами), содержащими по 32 элемента. Устройство рассчитано на анализ до трех координат в каждом из годоскопов за время, не превышающее 160 нс. В качестве элемента памяти использованы интегральные микросхемы К500РУ415. В первой части работы описаны электронная аппаратура и математическое обеспечение для ее тестирования. Во второй части работы описаны конструкция годоскопов, программы для расчета таблиц решений и обслуживания устройства и экспериментальные результаты.

Abstract

Baldin B.Yu. et al. A Fast Triggering Device Based on Parallel Memory Look up Tables to Operate under High Multiplicity of Detected Events. Part 2. Detector Design and Experimental Results: IHEP Preprint 91-10.- Protvino, 1991. - p. 14. figs. 8. table 1. refs.: 3.

A device for fast triggering based on parallel memory look up tables is described. It is designed to be used with three tracking detectors (hodoscopes) consisting of 32 elements. The device can analyze up to three coordinates in each hodoscope during the time no more than 160 nS. An integrated circuit К500РУ415 as the memory element is used. The first part of the paper describes electronics and software for its testing. The second part describes the design of the hodoscopes, service software and look up table contents calculations and experimental results.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И УСТРОЙСТВО ДЕТЕКТОРОВ

Описываемое устройство быстрого триггера^{1/} на базе параллельных таблиц решений используется на установке ФОДС-2^{2/}, расположенной на канале 22 ускорителя ИФВЭ, и служит для выделения событий с большими поперечными импульсами. Установка ФОДС-2 представляет собой двухплечевой магнитный спектрометр, обеспечивающий регистрацию и анализ вторичных частиц, образованных в жестких соударениях налетающих протонов с веществом мишени и разлетающихся в противоположные стороны в с.ц.м. Для увеличения телесного угла установки анализирующий магнит максимально приближен к мишени. При этом измерения траектории частицы, необходимые для определения ее импульса и угла образования, осуществляются только за анализирующим магнитом. Фиксация траектории частицы до анализирующего магнита проводится в точке взаимодействия пучка в мишени.

Порог регистрации заряженных частиц, определяемый геометрией установки и углом отклонения в магните, составляет при максимальной величине магнитного поля около 5 ГэВ/с. Широкий импульсный захват и круто спадающий с ростом импульса спектр вторичных частиц сильно усложняют задачу набора эквивалентной статистики в различных импульсных интервалах. Описываемое устройство позволяет решить эту проблему.

В условиях установки ФОДС-2 имеется еще одна задача, которая может быть решена с помощью предлагаемого устройства. Для эффективной идентификации сорта частицы с помощью спектрометра колец черенковского излучения (СКОЧ)^{3/} требуется ограничение углов входа частиц в спектрометр. Введение такого условия на уровне быстрого триггера позволяет в несколько раз повысить долг. зарегистрированных частиц, идентифицированных по сорту. Использование пучка высокой интенсивности (до 5×10^8 за цикл длительностью

0,5 с), большой аксептанс установки и прямая видимость мишени регистрирующей аппаратурой обуславливают высокую загрузку детекторов фоновыми частицами, достигающую $5 \cdot 10^6$ I/сброс. Отклонение частиц в магните спектрометра происходит только в вертикальной плоскости, так что для определения импульса достаточно использовать детекторы, измеряющие лишь вертикальную координату.

В качестве детекторов устройства выработки триггера были выбраны 32-канальные годоскопы сцинтилляционных счетчиков. Каждое плечо спектрометра содержит три годоскопа, различающихся размерами сцинт и лляторов в соответствии с размерами остальных детекторов установки. Геометрические характеристики годоскопов представлены в табл. I. Для облегчения эксплуатации и ремонта годоскопы имеют блочную конструкцию, обеспечивающую быструю замену любого блока.

Конструкция годоскопа показана на рис.1. Годоскоп содержит установленные внутри светозащитного корпуса кассеты из 32 полос сцинтиллятора, блоки делителей с фотоумножителями, усилители-формирователи УД-14, плату светодиодов и тестовый генератор ТТ-32. Каждая полоса сцинтиллятора обернута алюминизированной лавсановой пленкой толщиной 30 мк для улучшения светосбора и одним слоем черной бумаги. Это обеспечивает зазор 0,35 мм между полосами сцинтиллятора, необходимый для уменьшения кратных срабатываний соседних каналов от частиц, падающих на плоскость годоскопа перпендикулярно.

Таблица I.

Тип годоскопа	Шаг сцинтилл., мм	Размер чувств. области, мм ²	Толщина по пучку, мм	Габаритные размеры, мм ³
1	16	269×512	10	634×652×55
2	17,5	429×560	10	794×700×55
3	19	525×608	10	890×748×55

Высокое напряжение подается через разъем, расположенный на светозащитном кожухе, и является общим для всех 32 фотоумножителей. Блок делителей выполнен методом печатного монтажа и содержит четыре фотоумножителя ФЭУ-68, закрепленных на одной плате. Схема делителя (рис.2) позволяет выравнивать рабочие напряжения фотоумножителей с помощью дополнительного резистора, установленного в

специальных гнездах, обеспечивающих быструю замену. Для упрощения конструкции четыре делителя конструктивно объединены на одной плате, на которой последние шесть диодов четырех фотоумножителей соединены параллельно и имеют общий делитель. Блок делителей прикрепляется к торцу кассеты сцинтилляторов при помощи пластинчатых пружин и имеет разъем для подключения к УД-14.

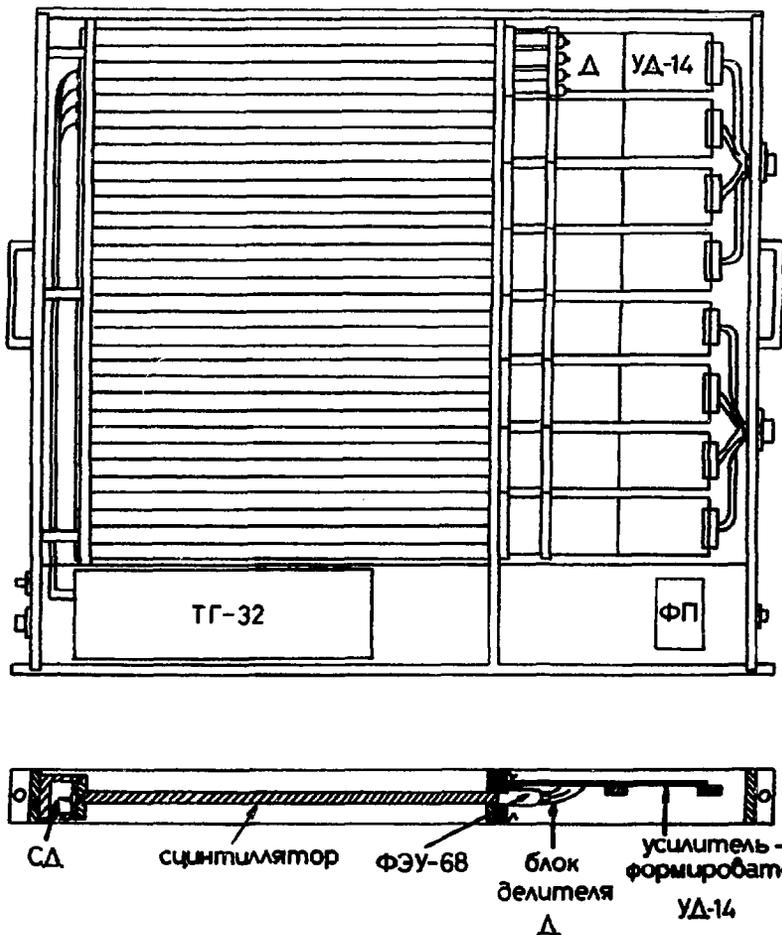


Рис.1. Конструкция годоскопа: СД - светодиоды, ФП- фильтр питания, ТГ-32 - тестовый генератор.

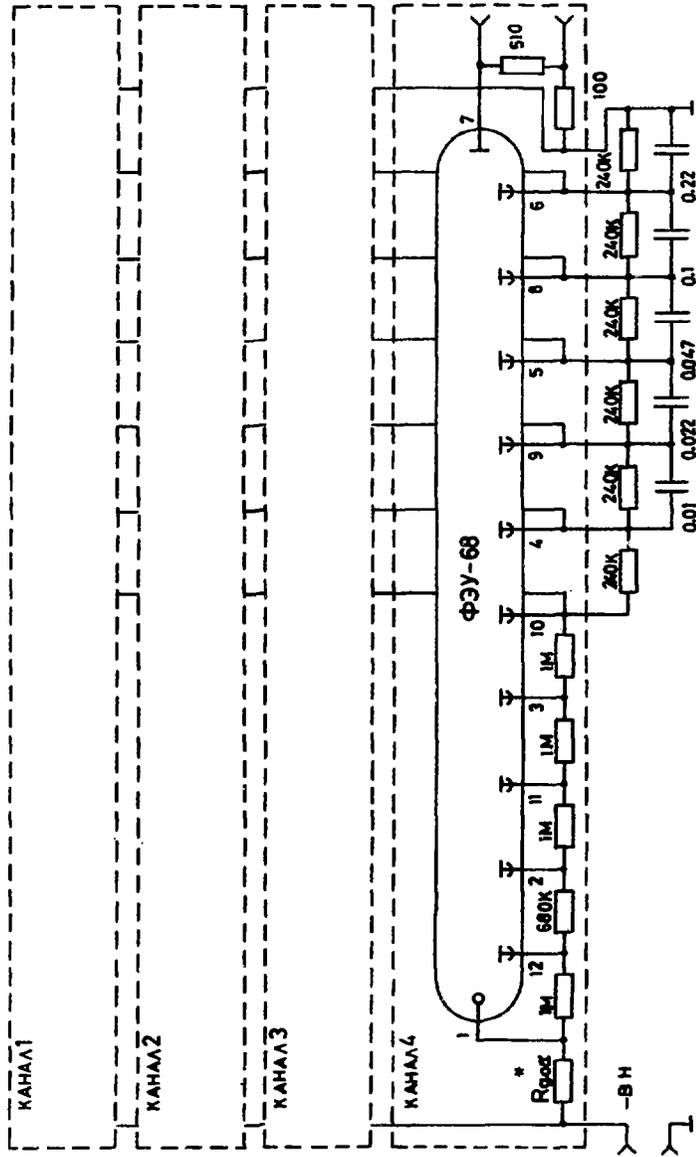


Рис.2. Схема делителя (ФЭУ - вход высокого напряжения).

Для защиты фотумножителей от рассеянного магнитного поля спектрометрического магнита установки, достигающего величины 25 Э в месте расположения ближайших к магниту годоскопов, используются цилиндрические магнитные экраны, состоящие из двух слоев отожженного пермаллоя общей толщиной 0,2 мм. Кроме того, при установке фотумножителей на плату они ориентированы в направлении минимальной чувствительности к магнитному полю.

Для улучшения однородности характеристик годоскопов фотумножители проходили отбор по чувствительности фотокатода и рабочему напряжению на специальном стенде. В результате все фотумножители были разбиты на шесть групп, что позволило существенно уменьшить разброс характеристик фотумножителей в пределах группы ФЭУ, запаянных на одной плате, и каждого годоскопа в целом. Плата светодиодов установлена на противоположном фотумножителям торце сцинтиллятора. Все светодиоды откалиброваны по световому потоку с точностью 20% с помощью отдельного фотумножителя с гибким световодом, что позволяет использовать их для сквозного тестирования устройства. Годоскопы установлены в плечах спектрометра ФДС-2 на расстояниях от мишени 4,5; 5,6 и 6,6 м соответственно. Для передачи сигналов годоскопов к входным регистрам ВР-32 применялись телефонные кабели со скрученными парами длиной 28 м.

2. ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ

Расчеты таблиц решений проводились методом Монте-Карло с использованием программы вычисления аксептанса установки. Исходными данными для программы являлись результаты измерений магнитных полей в спектрометрическом магните, геодезические координаты и размеры детекторов. В программе разыгрывались точка взаимодействия в мишени, углы вылета и импульс заряженной частицы. Далее вычислялась траектория частицы в пределах аксептанса Улеч установки последовательно для положительных и отрицательных частиц. Для того чтобы обеспечить приблизительно равномерное по площади заполнение попаданиями частиц в детекторы установки, угловое распределение вылета частиц из мишени выбрано изотропным, а импульсное — пропорциональным $1/p$. Основным параметром расчета был порог регистрации частиц по импульсу, который изменялся в диапазоне от 6 до 14 ГэВ/с с шагом 2 ГэВ/с, а дополнительным параметром — угол между траекторией частицы после магнита и осью установки.

Использование этого критерия позволяло подавить в триггере частицы, которые не идентифицировались по сортам спектрометром СКОЧ. Рабочий аксептанс СКОЧ составляет 50 мрад.

В результате работы программы заполнялись две квадратные матрицы размером 32×32 , в которых координатами являлись номера каналов первого и второго, а также второго и третьего годоскопов. В среднем на один элемент каждой матрицы, заполненный треками частиц (за исключением граничных областей), набиралась статистика около 3000 событий. На конечной стадии работы программы определялось среднее число событий для ненулевых элементов матрицы. Все элементы матрицы, для которых число событий превышало 10% от среднего, заполнялись единицами, а остальные - нулями. В результате в матрицах получалась диагональная область, заполненная единицами, которая соответствовала полезным событиям в триггере. Эта область сужалась при повышении порогового импульса частиц, что позволяло получать более "жесткие" спектры регистрируемых частиц. Таблицы нумеровались двумя цифрами, одна из которых соответствовала расчетному пороговому импульсу, а другая - максимальному регистрируемому углу траектории частицы. На рис.3 представлена рассчитанная таблица для порогового импульса 14 ГэВ/с. На рис.4 показан результат моделирования характеристик устройства выработки триггера. Представлена зависимость эффективности триггера от импульса частиц для таблиц решений 10-50 и 14-50, а также зависимость телесного угла спектрометра от импульса.

3. ЗАГРУЗКА ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ

Таблицы решений, подготовленные на большой ЭВМ, переносятся в память on-line ЭВМ (НР-2100) в виде матриц двоичных чисел 32×64 . Таблицы хранятся в обычных текстовых файлах и могут быть введены на экран дисплея, на печать и при необходимости отредактированы. Такая форма представления облегчает использование таблиц решений и расширяет возможности экспериментаторов.

Загрузка таблиц решений в память модулей TP-32 осуществляется интерактивной программой RUN, которая управляет системой сбора данных. Экспериментатор может загрузить выбранную таблицу в устройство выработки триггера в одном из плеч установки, либо осуществить проверку содержимого памяти модулей TP-32 на соответствие заданной таблице. Перезагрузка содержимого таблиц

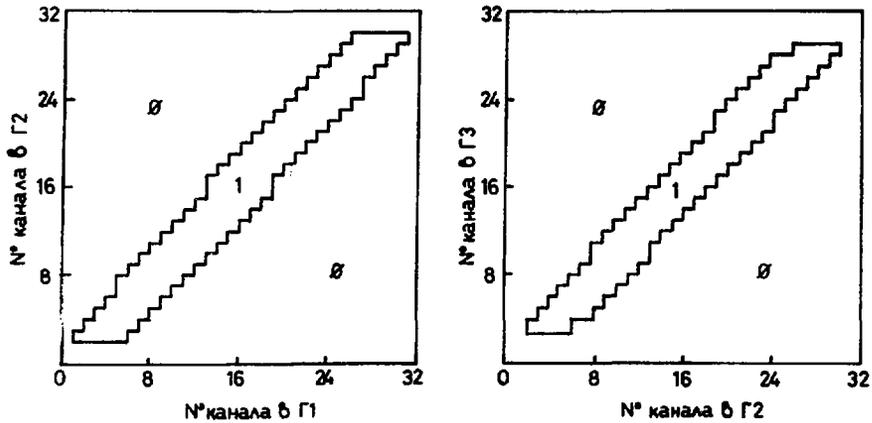


Рис.3. Таблица решений 14-50. Порог по импульсу - 14 ГэВ/с, ограничение на угол входа в СКОЧ - 50 мрад.

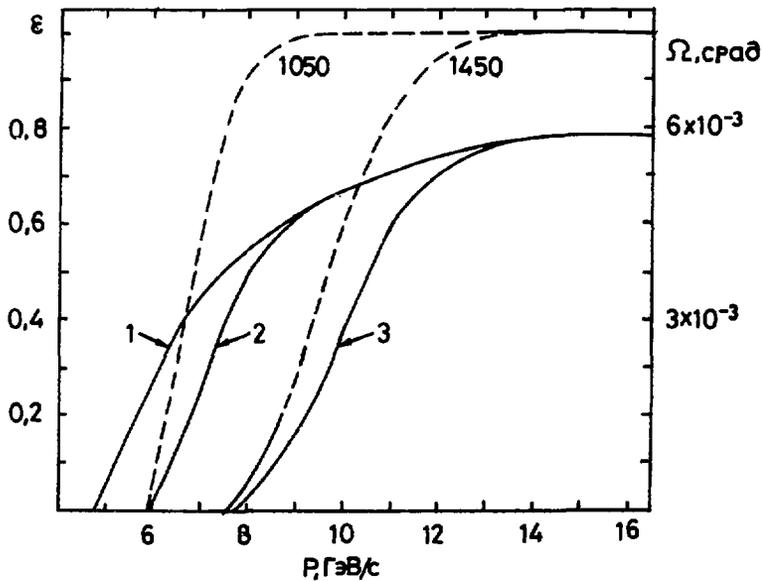


Рис.4. Пороговые кривые, рассчитанные методом Монте-Карло. Штриховые линии - зависимость эффективности триггера от импульса для таблиц 10-50 и 14-50. Сплошные линии - зависимость телесного угла от импульса: 1 - без триггера, 2 - с таблицей 10-50, 3 - с таблицей 14-50.

решений осуществляется всякий раз при смене таблиц или при отключении питания в каркасах устройства выработки триггера. При загрузке таблиц решений осуществляется их преобразование в формат данных TP-32, а также запись содержимого таблицы решений в память HP-2100 для целей on-line контроля. В памяти HP-2100 таблица решений хранится в упакованном виде и занимает 128 16-разрядных слов.

4. ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ ЗА РАБОТОЙ УСТРОЙСТВА ВЫРАБОТКИ ТРИГГЕРА

Использование описываемого устройства в качестве триггера экспериментальной установки обуславливает весьма жесткие требования к его надежности и необходимость непрерывного контроля за работой отдельных узлов и всей системы в целом. Такой контроль осуществляется путем анализа принимаемых в ЭВМ событий. Для контроля работоспособности годоскопов накапливаются распределения по множественности и профили пучка в годоскопах. Эти распределения могут быть представлены в виде гистограмм и таблиц и выведены на дисплей, либо печать. Правильность функционирования устройства выработки триггера контролируется в каждом обработанном on-line событии.

Первоначально контролируется работа шифраторов каждого годоскопа, для чего проверяется правильность последовательного возрастания двоичных кодов адресов сработавших каналов. В случае невыполнения этого условия выдается сообщение на системный дисплей и наращивается соответствующее число в таблице ошибок, предусмотренной для каждого годоскопа.

Контроль правильности выработки триггера осуществляется следующим образом. Информация с годоскопов поступает в программу-эмулятор, которая имитирует алгоритм работы модулей TP-32 и использует текущую таблицу решений в памяти HP-2100. Выходными данными программы являются решение о выработке триггера и номера модулей TP-32, которые должны выдать положительное решение. Эта информация сравнивается с данными, прочитанными из дополнительного входного регистра, описанного ранее. В случае несоответствия предсказания с прочитанной информацией на системный дисплей выдается сообщение об ошибке и наращивается содержимое соответствующих ячеек таблицы ошибок. В таблице суммируются случаи неправильной работы шифратора, ложные срабатывания и несрабатывания модулей TP-32, а также ложные срабатывания и несрабатывания

устройства в целом. Разработанный комплекс программ позволял быстро обнаруживать неисправности на стадии отладки системы и надежно контролировать работу устройства выработки триггера в ходе физического эксперимента.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование характеристик годоскопов и устройства выработки триггера в целом проводилось на установке ФОДС-2 с использованием информации с остальных детекторов установки. В качестве претриггера в каждом из плеч установки использовался сигнал совпадений четырех сцинтилляционных счетчиков. При этом один из счетчиков в каждом из плеч расположен за поглотителем из свинца толщиной 30 см. Это позволило снизить приблизительно в 10 раз число срабатываний претриггера от электромагнитных ливней без заметного уменьшения эффективности регистрации заряженных адронов.

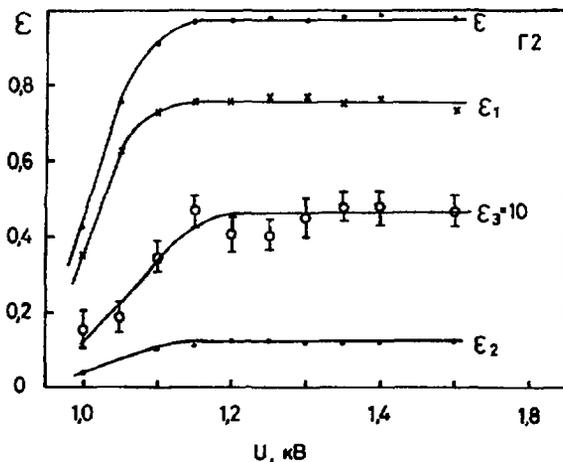


Рис. 5. Характеристики эффективности годоскопа.

Изучение характеристик годоскопов включало получение зависимости эффективности регистрации от высокого напряжения и кривых задержанных совпадений как для годоскопа в целом, так и для отдельных каналов с целью изучения степени однородности

характеристик по каналам. На рис.5 представлены зависимости эффективности ε и вероятностей однократных (ε_1), двухкратных (ε_2) и трехкратных (ε_3) срабатываний от высокого напряжения для одного из годоскопов. Наблюдается быстрый (в пределах 150 В) выход кривых на плато, что обусловлено достаточно большим числом фотоэлектронов и малым разбросом рабочих напряжений фотоумножителей от канала к каналу. Протяженность плато по напряжению составляет более 400 В. Эффективность на плато равна 97,5%, что соответствует геометрической неэффективности, обусловленной наличием щелей между пластинами сцинтиллятора. Разброс напряжений выхода на плато от канала к каналу не превышает 100 В. Кривые задержанных совпадений, снятые поканально, показывают, что разброс задержек сигнала в основном совпадает с разбросом задержек телефонного кабеля. Он составляет ± 8 нс (по основанию распределения) при длине кабеля 60 м и ± 3 нс при длине кабеля 28 м (телефонный кабель длиной 60 м использовался в измерениях эффективности годоскопов).

На рис.6а представлены кривые задержанных совпадений, полученные с использованием сигнала ">0" с выхода ВР-32 при трех значениях высокого напряжения. Разрешающее время годоскопа равно 24 нс при длине телефонного кабеля 60 м. Эта длина кабеля является предельной для использования без выравнивания задержек между отдельными парами, поскольку ширина плато кривой задержанных совпадений не превышает нескольких наносекунд. При рабочей длине кабеля 28 м (рис.6б) ширина плато увеличивается до 15 нс за счет меньшего разброса задержек кабеля, а также увеличения разрешающего времени до 32 нс вследствие меньшего затухания сигналов в кабеле.

На рис.7 показаны распределения по множественности срабатываний годоскопа при двух значениях магнитного поля в спектрометрическом магните установки. Изменения множественности обусловлены введением порога по импульсу, пропорционального величине поля в магните, что приводит к снижению доли полезных частиц в регистрируемых событиях и увеличению относительного уровня фона от электромагнитных ливней. Из представленных распределений множественности можно оценить неэффективность устройства выработки триггера для событий с большой кратностью. В событиях с кратностью больше трех (их уровень в претриггере около 8%) анализируются лишь первые три срабатывания, и возможна потеря части полезных событий. Уровень таких потерь в условиях установки ФОДС-2 не превышает 2% от полного числа событий, что обусловлено преобладанием ливней в событиях с большой кратностью.

Рис. 6.
Кривые задержанных совпадений: а) для годоскопа ГЗ при длине телефонного кабеля 60 м (цифры соответствуют напряжениям питания годоскопа), б) для годоскопов Г1, Г2, Г3 при длине телефонного кабеля 28 м.

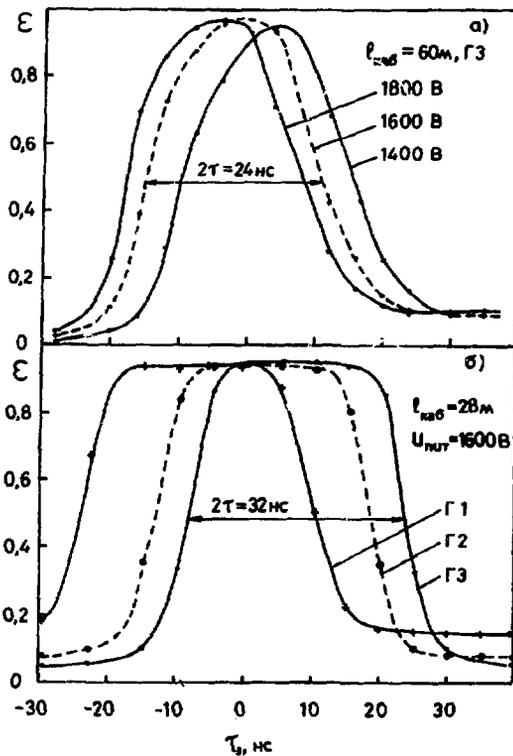
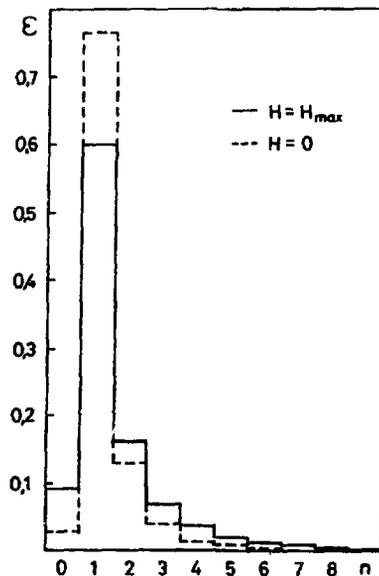


Рис. 7.
Распределение по множественности вероятности срабатывания годоскопа на один претриггер для двух значений магнитного поля.



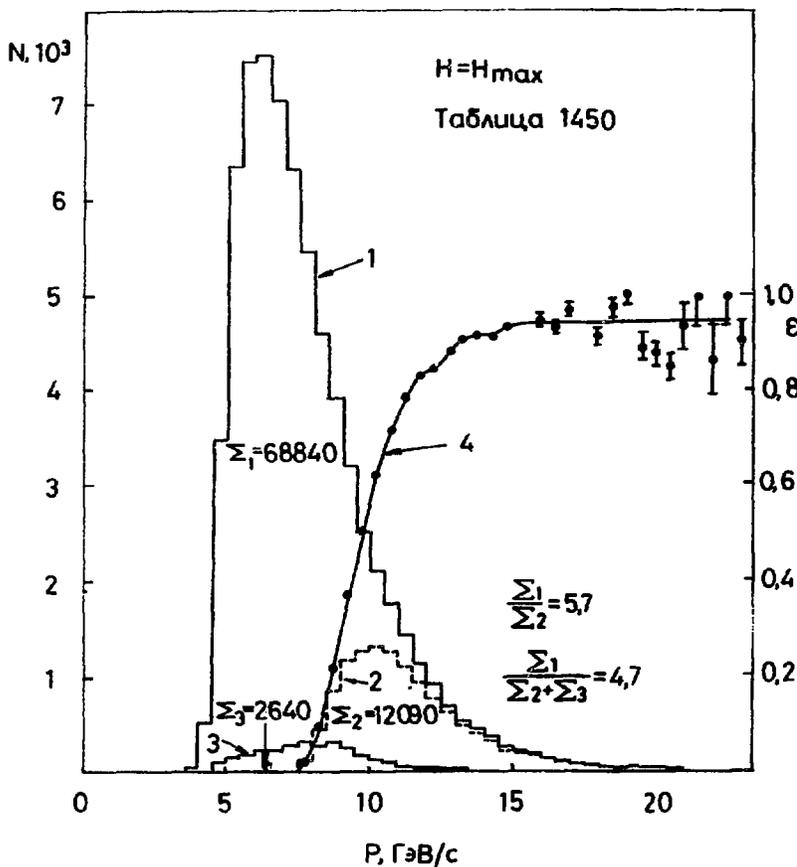


Рис.8. Распределение зарегистрированных частиц по импульсу: 1 - исходный спектр частиц, 2 - спектр частиц, соответствующих таблице решений, 3 - фоновые срабатывания устройства, 4 - зависимость эффективности триггера от импульса, полученная как отношение спектра 2 к спектру 1.

На рис.8 представлены экспериментальные результаты, характеризующие работу устройства выработки триггера с таблицей решений I4-50. Чтобы избежать проблемы нормирования спектров, эти результаты получены в условиях, когда запись событий проводилась по сигналу претриггера, а выходной сигнал устройства записывался в

качестве признака. Из сравнения с исходным спектром вторичных частиц видно, что устройство обеспечивает достаточно высокую крутизну среза спектра в области пороговых импульсов и высокую степень подавления частиц с импульсами ниже пороговых. Здесь же показана зависимость эффективности триггера ϵ от импульса P , полученная как отношение двух спектров (пороговая кривая). Уровень эффективности триггера выше порога составляет 94%. Уровень фоновых запусков, ограничивающий степень подавления на уровне 10^{-2} , объясняется наличием ливней в регистрируемых событиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описываемое устройство выработки триггера реализовано и эксплуатируется в двух экземплярах на установке ФОДС-2 с октября 1987 г. и продемонстрировало высокую надежность в работе. Использование вышеописанных устройств позволило увеличить скорость набора "жесткой" части спектра частиц в 5 раз. Следует подчеркнуть высокую гибкость устройства, которая, в частности, позволила в ходе эксперимента ввести ограничения на углы входа частиц в спектрометры СКОЧ путем коррекции содержимого таблиц решений и увеличить в 2-3 раза долю событий, идентифицированных по сорту. Разработанная система детального контроля и развитое программное обеспечение позволили обеспечить высокую надежность устройства и практически исключить простои установки, связанные с неисправностями устройства выработки триггера.

В заключение авторы выражают благодарность Р.М.Суляеву за постановку задачи и поддержку данной работы, В.М.Подставкову и А.О.Вильмову за ценные обсуждения.

Список литературы

1. Ваддин В.Д., Волков А.А., Глебов В.Д. и др. - Препринт ИВЭЭ 90-146. Серпухов, 1990.
2. Абрамов В.В., Алексеев А.В., Ваддин В.Д. и др. - Препринт ИВЭЭ 83-16. Серпухов, 1983.
3. Абрамов В.В., Ваддин В.Д., Васильченко В.Г. и др. - Препринт ИВЭЭ 86-148. Серпухов, 1986.

Рукопись поступила 23 января 1991 г.

16 коп.

Индекс 3649.

ПРЕПРИНТ 91-10, ИФВЭ, 1991.
