

2881/93 193

+

Будагов Ю. А. 49л.

Б1-10-93-116



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

344.39

Б1-10-93-116

**ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ**

# Исследование характеристик пороговых и нейросетевого триггеров отбора событий с $b$ -кварками на основе модельных данных для переднего калориметра установки "Многочастичный спектрометр"

Ю.А.Будагов, В.В.Пальчик, Н.О.Порошин<sup>1</sup>,  
В.М.Северьянов, В.Н.Шигаев

## 1 Введение

Крупномасштабная экспериментальная установка "Многочастичный спектрометр" (МЧС) [1], [2] с фиксированной мишенью проектируется для проведения исследований процессов образования и распада частиц с тяжелыми  $b$ - и  $c$ -кварками на пучках адронов и фотонов с энергией до 3 ТэВ ускорительно-накопительного комплекса ИФВЭ. Она представляет собой совокупность магнитов и детекторов различных типов, в том числе черенковских детекторов, станций дрейфовых камер, электромагнитных калориметров (ЭК), адронных калориметров (АК), детектора переходного излучения (схема экспериментальной установки МЧС приведена в работах [2], [3]).

Система калориметров спектрометра МЧС предназначена для реконструкции  $\gamma$ -квантов и идентификации электронов, а также для измерения таких глобальных характеристик события, как суммарное энергосодержание и поперечная энергия. Электромагнитные и адронные калориметры объединяются в пары (ЭК1, АК1) и (ЭК2, АК2), называемые, соответственно, вершинным и передним калориметрами. Поперечные размеры калориметров одинаковы и составляют  $390 \times 270 \text{ см}^2$  для адронных калориметров. Калориметры имеют ячеистую структуру. В настоящей работе использовалась модельная информация только для переднего калориметра (ЭК2 и АК2), который в дальнейшем будем называть калориметром.

Моделирование прохождения частиц через установку осуществлялось следующим образом. По программе генерации событий PYTHIA 5.3 [4] моделировались реакции типа  $p + p \rightarrow X$  и  $\gamma + p \rightarrow B + X$  для налетающего протона с импульсом 3000 ГэВ/с. При этом использовался стандартный набор параметров программы PYTHIA. Для реакции первого типа (мягкий фон) было сгенерировано 1000 событий, а для реакции второго типа (с рождением  $B$ -мезонов) — 500 событий. Прохождение частиц, образовавшихся в результате вышеуказанных реакций, через экспериментальную установку, моделировалось с помощью программы GEANT 3.14 [5], при этом учитывались следующие процессы взаимодействия частиц с веществом:

<sup>1</sup>Московский Инженерно-Физический Институт

Для каждой из ячеек калориметра на этапе моделирования вычислялась суммарная энергия частиц события, попавших в эту ячейку. Файлы модельных данных содержат информацию об отклике калориметра на каждое из 1000 событий с реакциями типа  $p + p \rightarrow X$ , которые мы будем именовать фоновыми событиями, и на каждое из 500 событий с реакциями типа  $p + p \rightarrow B + X$ , которые мы будем именовать В-событиями. Мы в данной работе используем те же файлы, что были использованы в работе [3], поэтому сравнение результатов не представляет каких-либо трудностей. Данная работа содержит сравнительные исследования характеристик как традиционных пороговых триггеров, так и их модификаций, а также вариантов нейросетевого триггера. Следует отметить, что полученные результаты относятся к определенной энергии первичного пучка (3 ТэВ) и к определенной геометрии и параметрам установки МЧС с фиксированной мишенью.

Основными характеристиками триггера являются:

- эффективность распознавания В-событий  $\epsilon_B$ ;
- эффективность регистрации фона; обычно используют коэффициент подавления фона, обратный величине эффективности регистрации фона;
- коэффициент обогащения  $Q$ , который по определению указывает, во сколько раз меняется отношение числа В-событий к числу фоновых событий после прохождения смешанного потока событий через триггер.

Наиболее наглядной и информативной является зависимость коэффициента  $Q$  от эффективности распознавания В-событий  $\epsilon_B$ , которую мы будем называть операционной характеристикой триггера. Эта характеристика в некотором смысле является универсальной и позволяет легко сравнивать различные триггеры.

Рассматриваемые ниже модели триггеров для удобства изложения мы подразделяем на 4 группы:

1. Триггеры по множественности
2. Триггеры координатные.
3. Триггеры энергетические.
4. Комбинированные и нейросетевые триггеры.

## 2.1 Триггер по множественности

Входные данные – число  $N$  ячеек калориметра, в которых при регистрации события выделилась энергия, отличная от 0. В модельных данных учитывались частицы с энергией от 3 ТэВ до 100 МэВ ( $e^+$ ,  $e^-$ ,  $\gamma$ ) и до 50 МэВ (остальные частицы). В силу конечного энергетического разрешения калориметра, равного

$\Delta E/E = 0,8/\sqrt{E}$  (здесь  $E$  – в единицах ГэВ), мы при исследовании характеристик триггеров получали оценки как для полного файла данных, так и с обрезанием данных по энергетическому порогу 3 ГэВ.

На рис. 1 представлены гистограммы распределения фоновых и В-событий по множественности  $N$ , а на рис. 2 – операционные характеристики триггера по множественности как для полного файла данных, так и для редуцированного по энергетическому порогу. При эффективности отбора В-событий, например, 0,8 данный триггер для редуцированного файла подавляет фон в 4,4 раза, что соответствует коэффициенту обогащения  $Q(0,8) = 3,5$ .

Невысокий коэффициент обогащения, даваемый триггером по множественности, легко объясним при рассмотрении двумерных распределений фоновых и В-событий на рис. 3а и рис. 3б, где по оси  $X$  отложена суммарная поперечная энергия события, а по оси  $Y$  – множественность  $N$ . Из приведенных распределений видно, что с ростом суммарного поперечного импульса быстро нарастает перекрытие кластеров фоновых и В-событий, а множественность события теряет свойство разделяющей функции.

Вторым моментом, приводящим к снижению эффективности триггера по множественности, служит то обстоятельство, что при использовании калориметра в качестве регистратора частиц происходит частичная потеря информации об их числе из-за интегрирующей функции ячеек калориметра, дающих нам только величину суммарной энергии всех частиц, попадающих в ячейку калориметра. Потеря информации о множественности особенно велика в центральной зоне калориметра, где плотность распределения частиц максимальна.

Полученную операционную характеристику следует рассматривать как ориентировочную. Она должна быть уточнена с помощью других, более полных модельных данных, поскольку в нашем случае не моделировался процесс развития электромагнитных и адронных ливней в калориметре.

## 2.2 Триггеры координатного типа

К этой группе триггеров мы относим те, в которых используется только координатная информация и не используется информация об энергии частиц.

В годоскопическом варианте ранее были предложены два триггера этого типа [13], [14]. Первый триггер ( $S_y$ ) работает на пороговом сравнении сигнала вида  $S_y = \sum_i |\Delta Y_i|$ , где суммирование производится по всем частицам события, а  $|\Delta Y_i| = |Y_i - Y_c|$  есть  $Y$ -проекция отклонения  $i$ -й частицы от центра пучка в плоскости годоскопа. Второй триггер,  $YH2$ , вырабатывает сигнал режекции события, если не выполнено требование одновременного наличия активных ячеек события выше и ниже полосы по оси  $Y$  с координатами  $h_y$  и  $-h_y$ .

На рис. 4 приведены распределения сигнала  $S_y$  для фоновых и В-событий, а на рис. 5 – операционная характеристика триггера для редуцированного файла данных. Для порогового триггера  $S_y$  сохраняют силу замечания, сделанные при обсуждении триггера по множественности.

Второй триггер ( $YH2$ ) для получения хорошей операционной характери-

стики требует большего аксептанса, чем это имеет место для переднего калориметра в геометрии МЧС. Тем не менее для целей сравнительного исследования интересно оценить эффект, который может дать триггер  $YH2$  при использовании переднего калориметра МЧС в качестве регистратора частиц. Были найдены коэффициенты обогащения  $Q$  для трех энергетических порогов и трех координатных порогов  $h_y$ . Результаты приведены в таблице 1, где показаны: эффективность распознавания В-событий  $\epsilon_B$ , коэффициент подавления фона  $R_S$  и коэффициент обогащения  $Q$ .

Таблица 1

$h_y$	$\epsilon_B$			$R_S$			$Q$		
	$e_i > 3$	$e_i > 7$	$e_i > 15$	$e_i > 3$	$e_i > 7$	$e_i > 15$	$e_i > 3$	$e_i > 7$	$e_i > 15$
20	0,76	0,66	0,51	4,8	6,4	11,9	3,6	4,3	6,0
30	0,44	0,34	0,19	11,4	17,2	47,6	5,0	5,8	9,0
40	0,13	0,08	0,04	58,7	90,8	33,3	7,4	7,1	14,7

### 2.3 Группа энергетических триггеров

Сюда мы включаем пороговые триггеры, в которых сигнал формируется с использованием динамических переменных (импульс/энергия). Рассмотрим ряд триггеров этой группы.

Операционные характеристики калориметрического триггера на основе поперечной энергии события рассматривались в работе [12], а в работе [3] – на основе средней поперечной энергии  $\bar{E}_t = E_t/N$ , где  $N$  – число активных ячеек калориметра для данного события. Эти две работы выполнены также на модельных данных, при той же энергии первичного пучка 3 ТэВ, что облегчает сравнение результатов.

На рис. 6 приведена операционная характеристика порогового триггера по полной радиальной поперечной энергии события  $E_{tr} = \sum_k e_k r_k$ , где  $r_k$  – расстояние от пучка до центра  $k$ -й ячейки калориметра, а суммирование производится по всем  $k$ , для которых  $e_k > 3$  ГэВ. Пороговое обрезание по энергии мы применяли при получении всех последующих результатов, за исключением триггера по средней поперечной энергии  $\bar{E}_{tr}$ , рассмотренного в работе [3]. Триггер по средней поперечной энергии уступает классическому варианту  $E_{tr}$ , особенно в диапазоне эффективности от 0,2 до 0,4.

Заметим, что использование только  $Y$ -компоненты поперечной энергии события может улучшить операционную характеристику триггера (рис.7) в диапазоне малых эффективностей, так как, в отличие от  $Y$ -составляющей, которая сохраняет первичную информацию об углах вылета заряженных частиц,  $X$ -составляющая претерпевает изменение за счет магнитного поля установки МЧС, и величина изменения зависит от заряда и импульса частиц в событии.

Такое перемешивание частиц по  $X$ -координате в плоскости калориметра увеличивает дисперсию распределения и снижает его крутизну как для фоновых, так и для В-событий. Поэтому авторы работы [12] за основной вариант взяли пороговый триггер по  $E_{ty} = \sum_k e_k |Y_k - Y_c|$ . На основании построенных распределений продуктов распада В-мезонов в плоскости калориметра ими была сформулирована рекомендация ограничить суммирование теми членами, для которых выполнено неравенство для быстрой:

$$3,2 < \eta_k < 5,2,$$

где в наших условиях

$$\eta_k \approx -\ln \left( \frac{|Y_k - Y_c|}{2Z_0} \right).$$

Здесь  $Z_0$  – расстояние от фиксированной мишени до плоскости калориметра. В геометрии МЧС  $\eta = 3,2$  соответствует  $|Y - Y_c| = 250$  см (у модели калориметра  $|Y - Y_c|_{max} = 100$  см). Ограничение на  $\eta$  справа соответствует отверстию в центральной части калориметра величиной  $|Y - Y_c|_{max} \leq 34$  см.

Авторы [12] приводят кривые эффективности и режекции фона для триггера  $E_{ty}$  с симметрично вырезанной полосой в 100 см по оси  $Y$  (для  $Z_0 = 31$  м). Вычисленная по этим кривым операционная характеристика приведена точечной линией на рис. 19. Поскольку по утверждению авторов работы [12] геометрия калориметра оказывается субоптимальной, нами осуществлен поиск оптимального размера полосы  $|Y - Y_c| \leq d_0$ , дающей наивысший коэффициент обогащения  $Q$  при трех значениях эффективности триггера  $\epsilon_B = 0,4, 0,6$  и  $0,8$ . Результаты приведены на рис. 8, где  $Q(0,4)$ ,  $Q(0,6)$  и  $Q(0,8)$  представлены графически как функции  $d_0$ . Из рис.8 видно, например, что при  $\epsilon_B = 0,8$  значения коэффициента обогащения  $Q > 6$  достигаются в интервале значений  $d_0$ , равном 5 – 14.

Триггер по  $Y$ -составляющей поперечной энергии с вырезанием центральной полосы  $|Y - Y_c| \leq h_y$  будем обозначать  $E_{ty} (|Y - Y_c| > h_y)$  (см. рис. 9). Аналогично определяется модифицированный триггер по радиальной поперечной энергии с центральным отверстием  $r \leq d$ :  $E_{tr} (r > d)$  (см. рис. 10).

Следующая модификация триггера  $E_t$  включает пороговый контроль ( $e < e_0$ ) энергии, выделенной в ячейках калориметра, при подсчете поперечной энергии события (см. рисунки 11, 12). Эта модификация триггера была введена нами после более детального исследования данных в исходных файлах фоновых и В-событий.

Представление о модельных данных дает таблица 2, где для фоновых и В-событий приведены параметры распределения частиц событий по координатам  $X, Y$  в 11 энергетических интервалах, а также общее число частиц в этих энергетических интервалах. Детальный анализ распределения активных ячеек калориметра показывает, что в интервалах с высоким значением выделенной энергии  $e_k$  распределение фоновых событий имеет более длинные "хвосты", чем В-события. Так в последних четырех интервалах энергии (300 – 3000 ГэВ) в таблице 3 пред-

Таблица 2

Интервалы энергии (ГэВ)	1000 фоновых событий					500 В-событий				
	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$n_S$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$n_B$
0 – 10	51,1	50,1	20,0	18,0	7126	49,7	50,3	21,0	21,0	7154
10 – 20	50,8	50,2	24,7	16,3	1857	49,6	50,1	24,1	18,8	2392
20 – 50	50,4	50,6	19,4	12,5	2930	50,2	50,3	20,1	15,8	3806
50 – 90	50,6	50,7	11,4	7,5	1523	50,9	50,2	14,4	12,2	1813
90 – 140	50,7	50,5	6,6	5,2	893	50,6	50,6	10,6	9,3	1058
140 – 200	50,8	50,6	5,0	3,8	588	51,2	50,9	8,1	7,0	606
200 – 300	50,7	50,6	4,2	3,3	560	50,6	50,5	5,5	5,1	482
300 – 500	50,7	50,7	3,3	2,5	560	51,0	50,5	3,4	3,3	385
500 – 1000	50,9	50,5	2,2	1,9	531	50,8	50,3	1,9	2,8	322
1000 – 2000	50,8	50,5	2,2	3,1	449	50,8	50,5	0,9	1,0	212
2000 – 3000	51,3	50,5	0,6	1,0	397	50,7	50,4	1,0	1,0	20

ставлены числа активных ячеек калориметра  $n_S$  (для фоновых событий) и  $n_B$  (для В-событий), лежащих за пределами центрального круга радиуса  $r$ .

Таблица 3

$e_k$ (ГэВ)	$r$	$n_S$	$n_B$
300 – 500	$> 20$	7	2
500 – 1000	$> 6$	10	4
1000 – 2000	$> 4,5$	8	0
2000 – 3000	$> 1,5$	188	5

В среднем в одном событии число активных ячеек калориметра в энергетическом интервале 300 – 3000 ГэВ одинаково для обоих классов событий и равно 1,9. Заметим, что общее число активных ячеек в одном событии составляет в среднем 20 для фоновых и 36 для В-событий.

Согласно физической теории адронных процессов при снижении энергетического порога частиц, включаемых в подсчет поперечной энергии события, растет крутизна кривой распределения поперечной энергии и повышается эффективность триггера. Это обстоятельство стимулировало более детальный анализ эффектов варьирования порога для высокоэнергетичных частиц и его влияния на роль поперечной энергии в качестве решающей функции.

Выключение центральных ячеек калориметра из подсчета поперечной энергии события (условия  $|Y_k - Y_c| > h_y$ ,  $r_k > d$ ) исключает вклад частиц высокой энергии, которые концентрируются в центральной окрестности калориметра и

чей поперечный момент оценивается с большой относительной ошибкой, так как точные координаты входа частицы в калориметр заменяются координатами центра ячейки.

Совместное выполнение двух условий:  $|Y_k - Y_c| > h_y$  и  $e_k < e_0$ , где  $e_0 \approx 200 - 300$  ГэВ, исключает вклад высокоэнергетичных частиц с большим отклонением от центра калориметра, которые отсутствуют в файле В-событий. Таких частиц мало и в файле фоновых событий, тем не менее их исключение существенно повышает коэффициент режекции фоновых событий  $R_s$  в диапазоне умеренно низких значений эффективности триггера ( $0,2 < \varepsilon_B < 0,4$ ).

Операционные характеристики модифицированных триггеров такого типа,  $E_{ty}$  ( $|Y - Y_c| > h_y, e < e_0$ ),  $E_{tr}$  ( $r > d, e < e_0$ ), представлены на рисунках 13, 14. Очевидно, операционные характеристики модифицированных триггеров демонстрируют существенный прирост коэффициента обогащения  $Q$  во всем диапазоне эффективностей триггера.

К группе энергетических пороговых триггеров мы относим и триггеры, вычисляющие полную или частичную сумму энергий, выделенных в ячейках калориметра.

## 2.4 Триггер по частичной сумме $E_{c44}$ в центральной зоне калориметра

Исследования, проведенные с зонами разных форм и размеров, привели к выбору зоны в виде квадрата  $8 \times 8$  см<sup>2</sup> ( $4 \times 4$  ячейки). Операционная характеристика этого триггера ( $E_{c44}$ ) приведена на рис. 15. Триггер  $E_{c44}$  при эффективности 0,99 подавляет фон в 2 раза. Очевидно, в силу простоты этот пороговый триггер может быть реализован на аналоговых схемах и обладает малым временем формирования сигнала реакции.

## 2.5 Триггер по полной энергии $E_{tot}$

Распределение событий по значению полной энергии  $E_{tot}$ , выделенной в калориметре, приведено на рис. 16, а операционная характеристика этого триггера — на рис. 17. При эффективности триггера 0,96 коэффициент режекции фоновых событий достигает 3.

## 3 Комбинированные триггеры

Схема комбинированного триггера в простейшем случае может строиться по схеме последовательного срабатывания простых пороговых триггеров в порядке, задаваемом временем  $\tau$ , затрачиваемым на формирование триггерных сигналов.



## 4 Нейросетевой триггер

Функция нейросетевого триггера, как и обычных триггеров, состоит в выработке выходного логического сигнала после подачи на входы триггера определенных сигналов анализируемого события. Конкретное значение выходного сигнала запускает последовательность дальнейших операций в системе накопления и анализа данных эксперимента: либо передачу события на следующий уровень анализа, либо вычеркивание текущего события из всех очередей. Один из рассмотренных нами вариантов калориметрического нейросетевого триггера представлен на рис. 18.

Прежде чем нейронная сеть сможет действовать как триггер, она должна быть обучена распознавать и классифицировать события двух классов: фоновые и с рождением В-мезонов. Чтобы проверить способность сети к обобщению, т.е. к распознаванию событий, которые *не представлялись ей при обучении*, но принадлежат, тем не менее, к тем же классам событий, которые сеть обучалась распознавать, мы разбили смесь из имеющихся у нас 1500 фоновых и В-событий на две равные части: одна половина использовалась для тренировки нейронной сети (обучающая выборка), другая – для тестирования способности сети действовать в качестве триггера (контрольная выборка).

Для каждого из 1000 фоновых и 500 В-событий подсчитывались 20 параметров, которые записывались в соответствующие файлы. Из содержимого этих файлов готовилась входная смесь (выборка) для нейронной сети. Написанная нами программа работы с нейронной сетью позволяет подавать на вход сети любую комбинацию параметров, выбираемых из 20 заготовленных в соответствии с предварительно заданной маской. Нейронная сеть имеет столько входных нейронов, сколько на нее подается параметров.

Нами исследовались различные комбинации входных параметров и различные характеристики нейронной сети с целью выбора наилучшего варианта для нейросетевого триггера. Так в нейронной сети варьировались:

- число слоев скрытых нейронов;
- число нейронов в скрытом слое;
- "температура"  $T$ ;
- способ коорректировки весов (обычный или с добавлением шума – корректировка Ланжевена);
- скорость обучения  $\eta$ .

Следует подчеркнуть, что существенного, заметного эффекта большинство этих модификаций не дает. Поэтому в большинстве экспериментов с нейронной сетью мы ограничились трехслойной нейронной сетью, в скрытом слое которой было  $10 + 2 * i$  нейронов, где  $i$  – число входов. Выходной слой содержал 1 нейрон. В качестве передаточной функции нейронов использовалась сигмоидная функция

$$g(x/T) = \tanh(x/T), \quad g: R \rightarrow [-1, 1],$$

где  $T$  – "температура",  $R$  – множество вещественных чисел. Варьируя при оптимизации параметров "температуру" от 0,5 до 2,0, мы остановились на величине  $T = 1$ .

Обучение проводилось эпохами и циклами: каждая из  $n$  эпох состояла из заданного числа  $m$  циклов тренинга и одного цикла тестирования работы нейронной сети в качестве классификатора. От эпохи к эпохе осуществлялось постепенное уменьшение параметра скорости обучения  $\eta$  сети: от 0,01 для первой эпохи до 0,005 – 0,001 для последней эпохи. Проводились сеансы обучения, которые включали до 20 эпох по 10 – 20 циклов. Оптимальной оказалась комбинация из 4 эпох по 10 циклов в каждой. Числа  $n$  эпох и  $m$  циклов тренинга могли задаваться произвольно.

При подборе параметров нейронной сети мы опирались на рекомендации авторов пакета JETNET из работы [11]. Все остальные характеристики сети имели значения, установленные по умолчанию в пакете JETNET 2.0.

Для построения операционной характеристики триггера на сеть подавались параметры фоновых и В-событий из контрольной выборки. Значения  $O_{net}$  выходного нейрона запоминались в файлах. По этим данным путем последовательного сдвига точки разделения  $O_t$  (от -1 до 1) подсчитывались:

- вероятности распознавания В-событий;
- вероятности ошибочной классификации фоновых событий (ошибка 2-го рода в распознавании);
- соответствующие им значения коэффициента обогащения  $Q$ .

Для удобства работы с нейронной сетью и систематизации получаемых результатов последние запоминались в файле паспорта каждого сеанса работы с нейронной сетью.

В число возможных параметров нейросетевого триггера были включены:

- полная энергия  $E_{tot}$ , выделенная вторичными частицами в калориметре;
- энергия  $E_{c44}$ , выделенная в центральных  $4 \times 4$  ячейках калориметра;
- радиальная поперечная энергия  $E_{tr}$  – как полная, так и различные ее модификации;
- $Y$ -компонента  $E_{ty}$  поперечной энергии – как полная, так и вычисленная при различных условиях;
- наибольшая по абсолютной величине в событии  $Y$ -координата активной ячейки  $i$  с  $e_i > 5$  ГэВ.

На вход сети параметры подавались отнормированными по обучающей выборке в интервале  $[0,1]$ . Как показано в [15], это приводит к некоторому улучшению результатов на выходе сети.

Эксперименты с нейронной сетью показали, что в качестве оптимального набора входных параметров нейросетевого калориметрического триггера можно использовать 4 параметра: полную энергию события  $E_{tot}$ , энергию, выделенную в центре калориметра  $E_{c44}$ , поперечную радиальную энергию  $E_{tr}$ , а также не зависящую от магнитного поля  $Y$ -компоненту модифицированной поперечной энергии, при вычислении которой используются лишь те ячейки калориметра, для которых одновременно выполняются 2 условия:  $e_i < 200$  Гэв и  $|Y_i - Y_c| > 10$  см.

На рис.19 представлена операционная характеристика нейросетевого триггера с оптимальными параметрами на входе (линия 4). Как видно из рисунка, при этом удается достигнуть желаемого для условий данного эксперимента коэффициента обогащения  $B$ -событий  $Q$ , равного 8 – 10 при эффективности 0.7 – 0.8, т.е. 10 – 15-кратного подавления фона с потерей при этом лишь небольшой части (20 – 30%)  $B$ -событий.

На этом же рисунке приведены операционные характеристики триггера по  $E_{tr}$  (линия 1) и нейросетевого триггера из работы [3] (линия 3), где в качестве входных в нейронную сеть подавались параметры полной энергии и 3 величины, усредненные по числу активных ячеек: энергия, поперечная энергия и расстояние от оси первичного пучка. Кроме того, на рисунке представлена операционная характеристика для триггера  $E_{ty}$  ( $|Y_i - Y_c| > 50$  см), предложенного в ЛИЯФ [12] (линия 2). Отметим, что все эти три кривые дают в интересующей нас области, где  $\epsilon_B$  равно 0.7 – 0.8, значение коэффициента обогащения  $Q$ , равное 6 – 4, что приблизительно в 2 раза уступает результатам, полученным в данной работе.

## 5 Заключение

В данной работе проделано следующее:

1. Исследованы характеристики семейства пороговых калориметрических триггеров, основанных на применении как традиционных решающих функций, так и их новых модификаций, для которых найден диапазон оптимальных значений параметров.

Показано, что модифицированные пороговые триггеры обладают существенно лучшей операционной характеристикой, обеспечивая более высокое подавление фоновых событий во всем диапазоне эффективности триггера как устройства отбора событий, связанных с рождением  $B$ -мезонов.

2. Исследованы характеристики ряда конфигураций нейросетевого калориметрического триггера, основанного на пороговом сравнении выходного сигнала многослойной нейронной сети, настроенной посредством стандартной процедуры обучения на распознавание событий с  $B$ -мезонами.

Нейросетевой триггер не только превосходит каждый из традиционных пороговых триггеров по своей эффективности, но благодаря адаптивности

дает возможность по ходу проведения физического эксперимента производить дообучение нейронной сети, оптимально настраивать триггер на реальные фоновые условия проведения эксперимента.

3. В рамках использованных нами моделей калориметра и входных данных выполнены требования Проекта МЧС к калориметрическому триггеру [2] (при эффективности 0,7 – 0,8 подавление фоновых событий должно быть в пределах 10 – 15; наш нейросетевой триггер дает подавление 10 – 14). Однако о достижении проектного задания на калориметрический триггер можно будет говорить лишь после того, как модельные данные будут включать в себя эффект "размазывания" энергии частиц по кластерам ячеек калориметра.

В данной работе были использованы данные только с одной пары калориметров. Естественно, что учет информации со всех калориметров, а также данных с других детекторов установки МЧС позволит развить нейросетевой подход к построению триггера для этой установки. Сопряженные с этим проблемы – предмет для дальнейших исследований.

В заключение мы хотели бы выразить благодарность Станиславу Токару за плодотворные обсуждения нашей работы и полезные замечания.

## References

- [1] *Асмолов А.Г. и др., Многочастичный спектрометр, Препринт 88-13 ИФВЭ, Серпухов (1988)*
- [2] *Зайцев А.М., Статус установки "Многочастичный спектрометр" (МЧС), Материалы рабочего совещания "Физика на УНК", Серпухов (1989) с. 27*
- [3] *Иванов В.В., Порошин Н.П., Северьянов В.М., Возможность применения нейронной сети для отбора событий с В-мезонами в калориметрическом триггере, Математическое моделирование, том 4, номер 8 (1992) 94-106*
- [4] *Bengtsson H.-U., Sjöstrand T. PYTHIA. The Lund Monte Carlo for Hadronic Processes, Computer Physics Communications 46 (1987), 43*
- [5] *Brun R. et al. GEANT Long Write-up, CERN Program Library W5013 (1989)*
- [6] *Fesefeldt H.C. GHEISHA, The Simulation of Hadronic Showers – Physics and Applications, PITHA 85/02, Physikalisches Institut, RWTH, Aachen, FRG (1985)*

- [7] *Sjöstrand T.* The Lund Monte Carlo for Jet Fragmentation and  $e^+e^-$  Physics – JETSET, *Computer Physics Communications* **39** (1986) 347 and **43** (1987) 367
- [8] *Lönnblad L., Peterson C., Rönqvaldsson T.* Pattern Recognition in High Energy Physics with Artificial Neural Networks – JETNET 2.0, *Computer Physics Communications* **70** (1992), 167
- [9] *Ivanov V.V., Khasanov A.M., Palichik V.V.* PAW/GKS Implementation on IBM PC under MS DOS, *In the Proc. Second International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems for High Energy and Nuclear Physics, France (1992)* 227-231
- [10] *Смирнова О.Г., Стриж Т.А., Файн В.Э.* Использование системы PAW в MS DOS, *Сообщение ОИЯИ P11-92-416, Дубна (1992)*
- [11] *Lönnblad L., Peterson C., Rönqvaldsson T.* Using Neural Networks to Identify Jets, *Nuclear Physics* **B349** (1991), 675
- [12] *Kolomensky G.A., Obrant G.Z., Smirnov A.I.* Fast Trigger Algorithm for B-events Selection, *Preprint 1699 (June 1991), ЛИЯФ, Ленинград*
- [13] *Морозова Э.Я., Пермякова Л.А., Тазтамышев Г.Г.* Триггер на распады В-мезонов, *P1-91-65 (1991), ОИЯИ, Дубна*
- [14] *Boenko I.R., Takhtamyshv G.G.* Trigger for Decays of B-mesons produced at 20 TeV *E1-92-414 (1992), ОИЯИ, Дубна*
- [15] *Seidel F. et.al.* B-quark Tagging Using Neural Networks and Comparison with a Classical Method, *In the Proc. Second International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems for High Energy and Nuclear Physics, France (1992)* 425

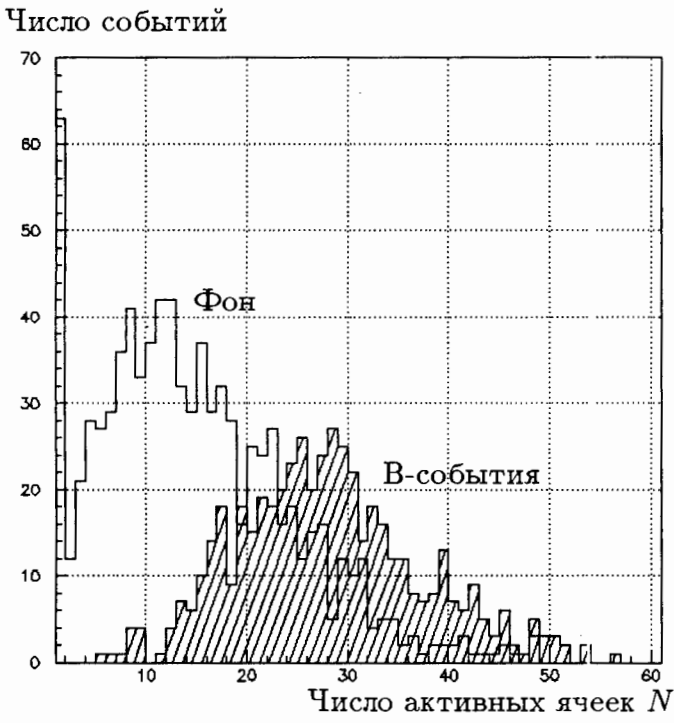


Рис. 1: Распределение фоновых и В-событий по множественности

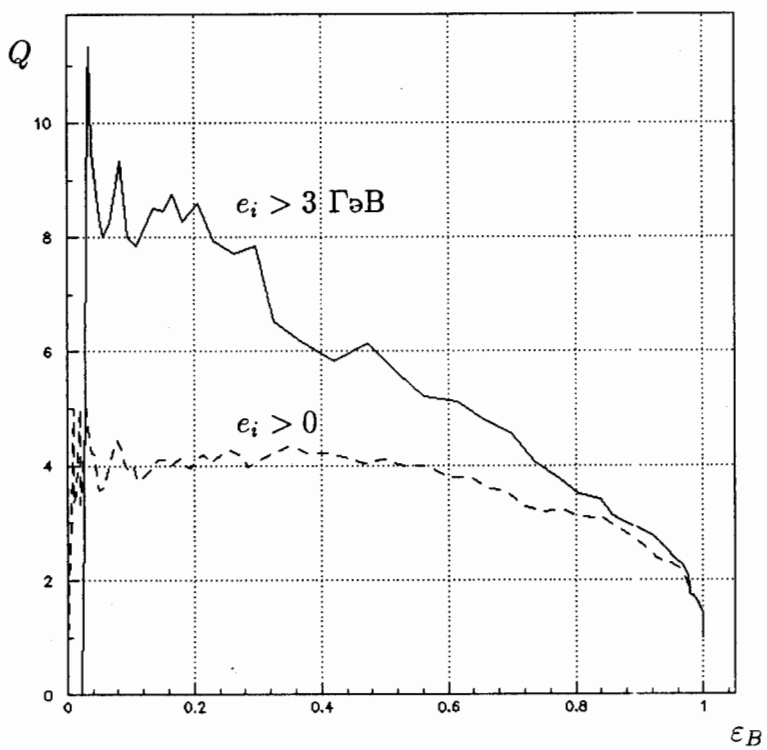
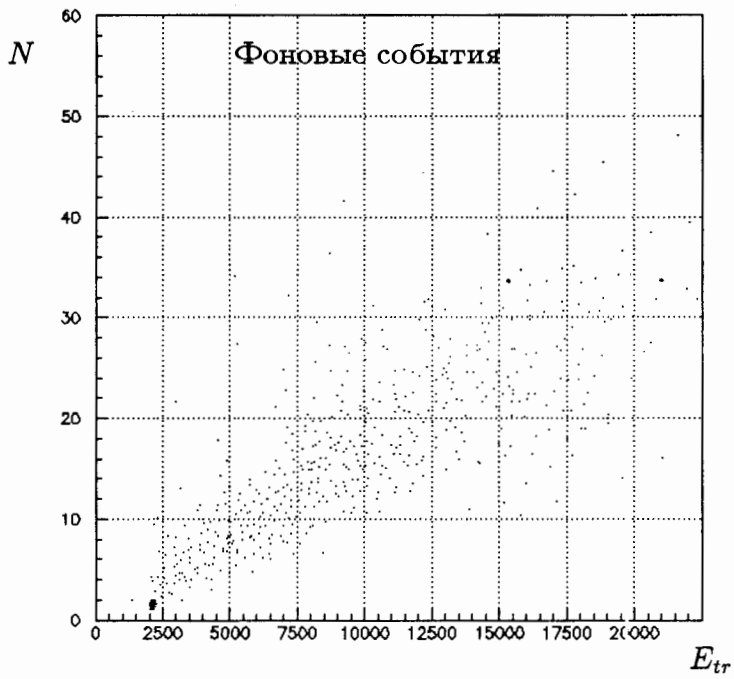
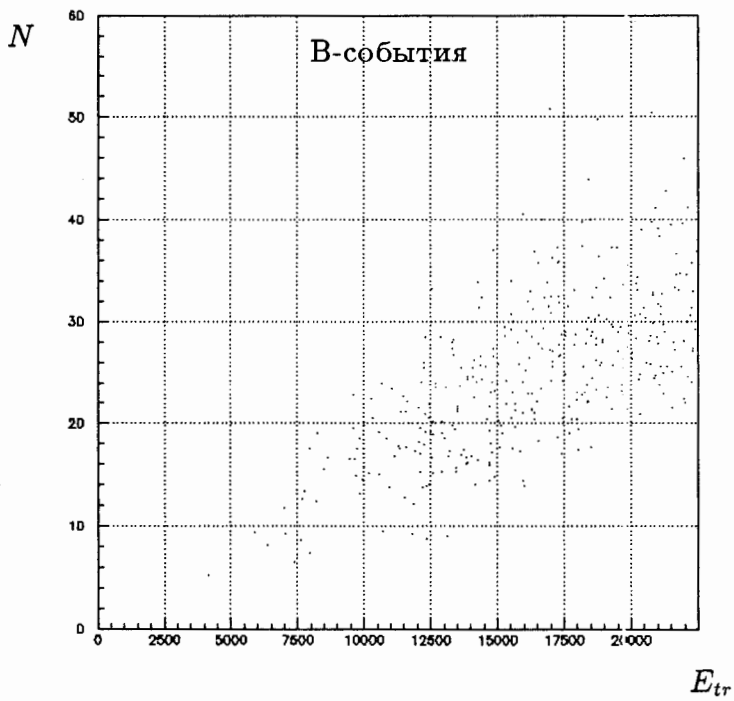


Рис. 2: Операционные характеристики триггера по множественности



а)



б)

Рис. 3: Двумерное распределение для множественности и радиальной поперечной энергии



Число событий

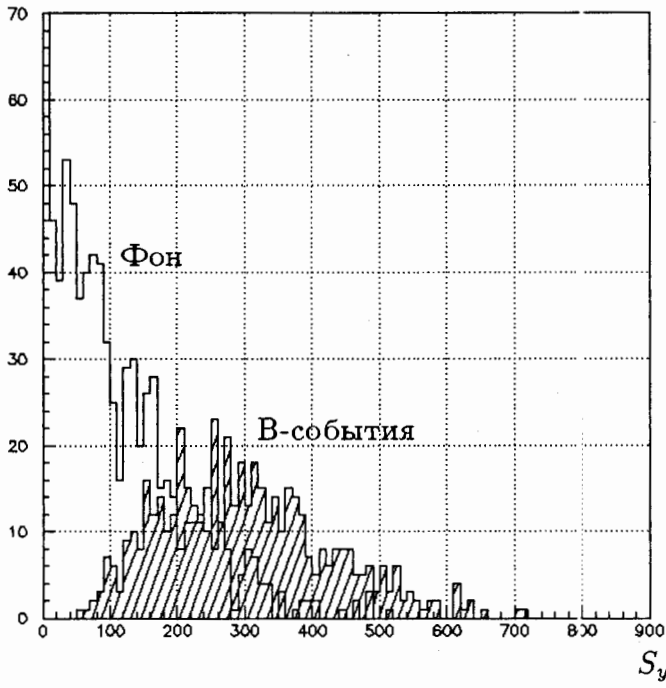


Рис. 4: Распределение фоновых и В-событий по  $S_y$

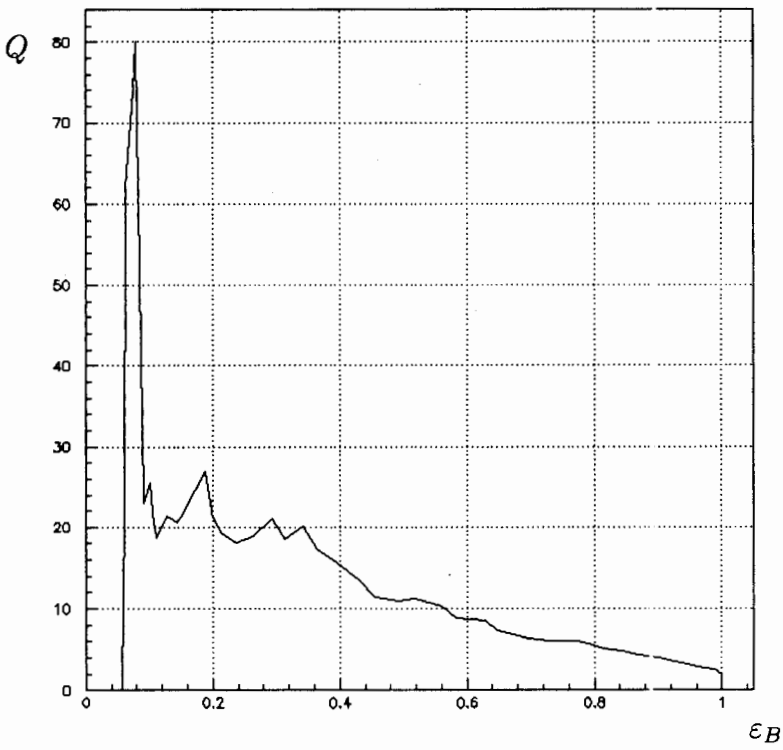


Рис. 5: Операционная характеристика триггера  $S_y$

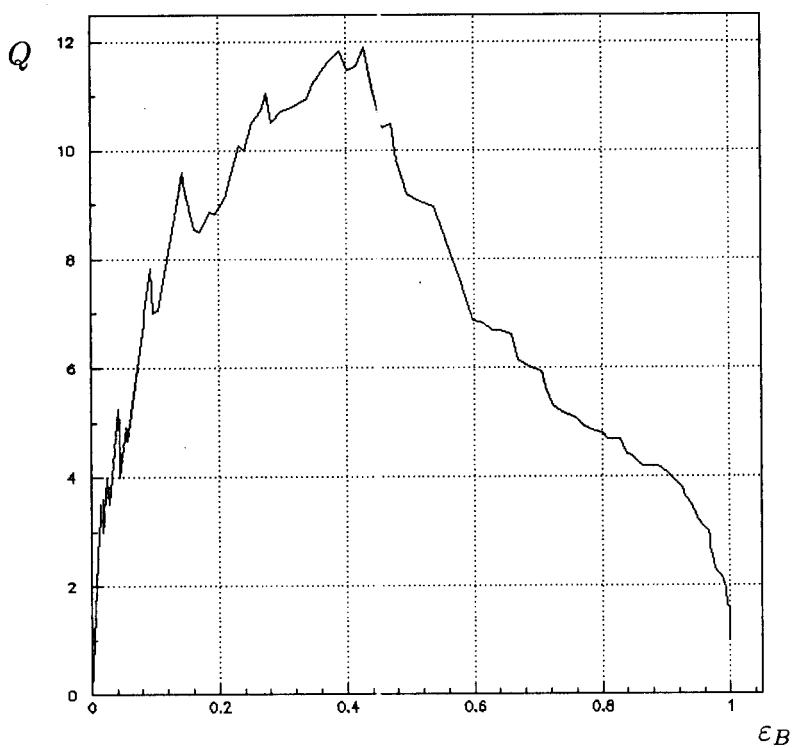


Рис. 6: Операционная характеристика триггера по радиальной поперечной энергии  $E_{tr}$

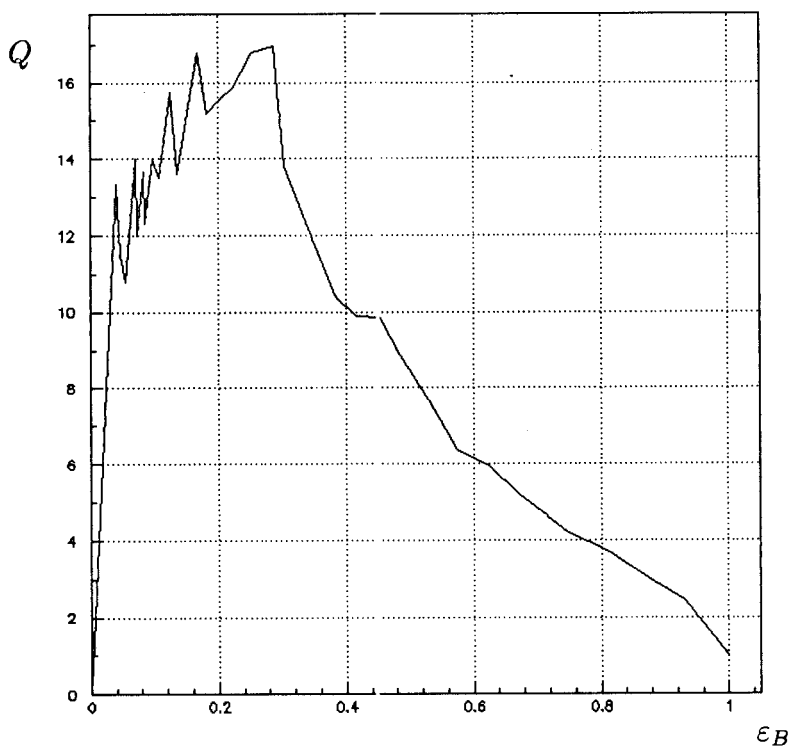


Рис. 7: Операционная характеристика триггера по поперечной энергии  $E_{ty}$

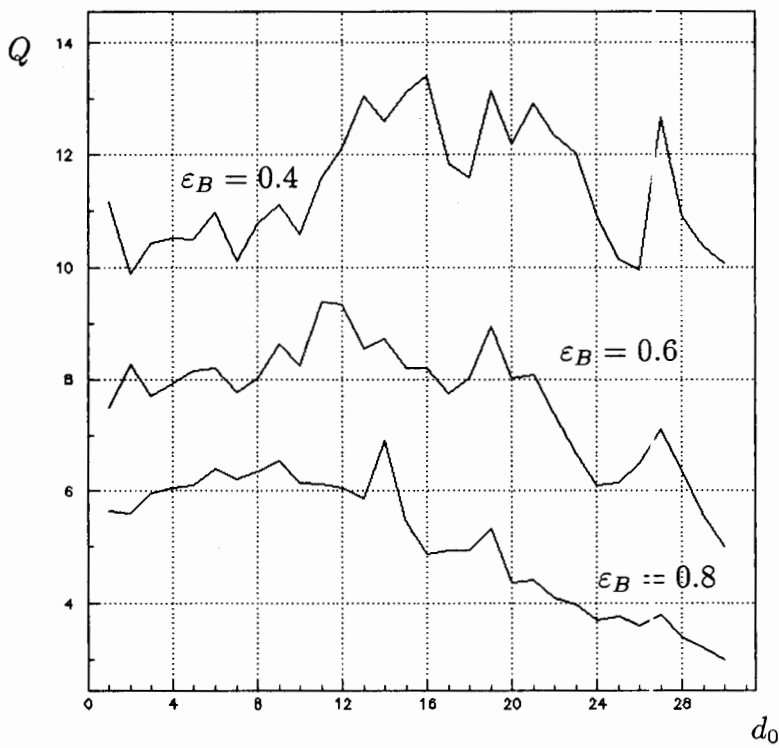


Рис. 8: Зависимость коэффициента обогащения триггера по  $E_{ty}$  от полуширины вырезаемой центральной полосы  $d_0$

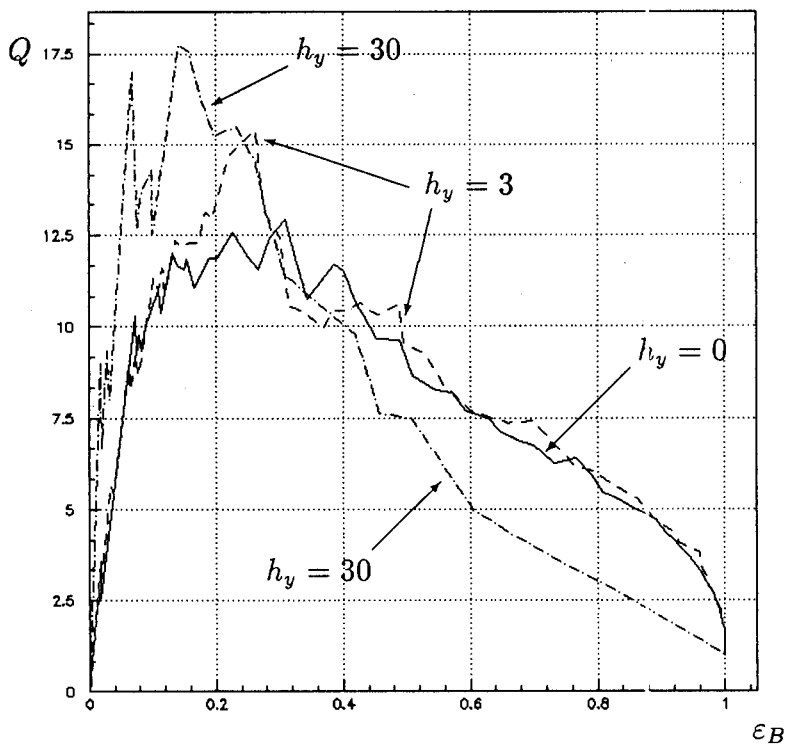


Рис. 9: Операционные характеристики триггера типа  $E_{ty}$  ( $|Y - Y_c| > h_y$ )

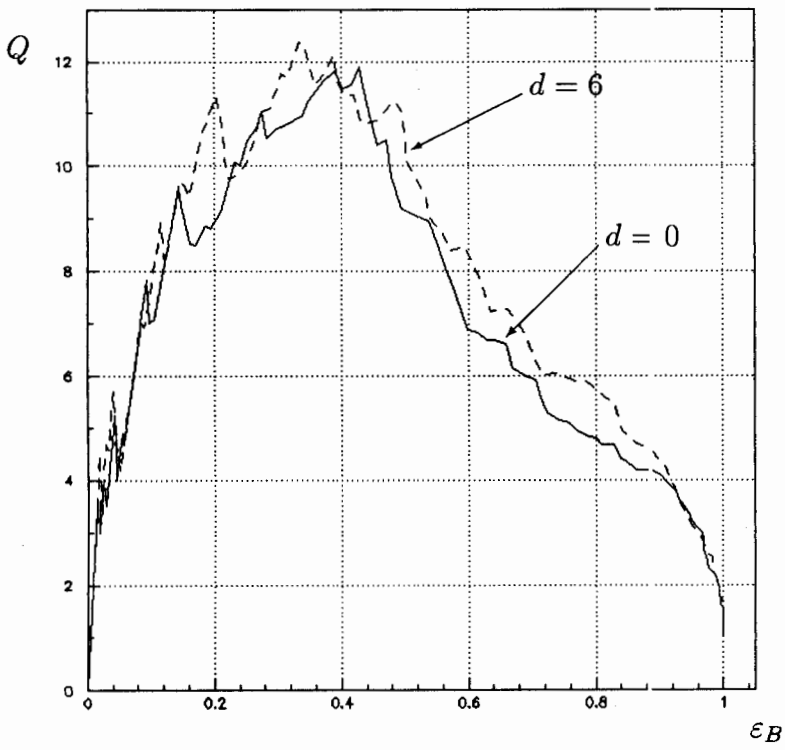


Рис. 10: Операционные характеристики триггера типа  $E_{tr}$  ( $r > d$ )

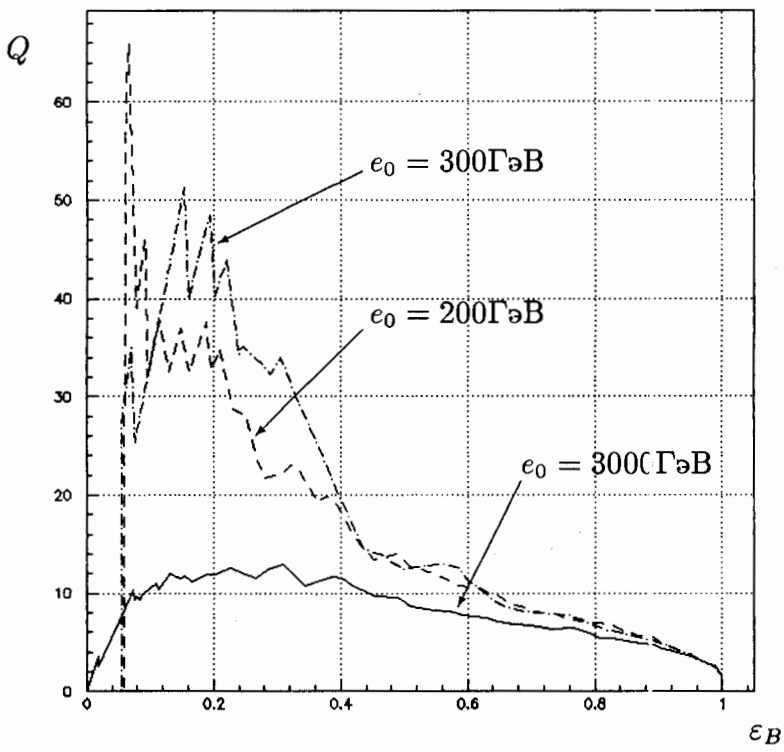


Рис. 11: Операционные характеристики триггера типа  $E_{ty}$  ( $e < e_0$ )



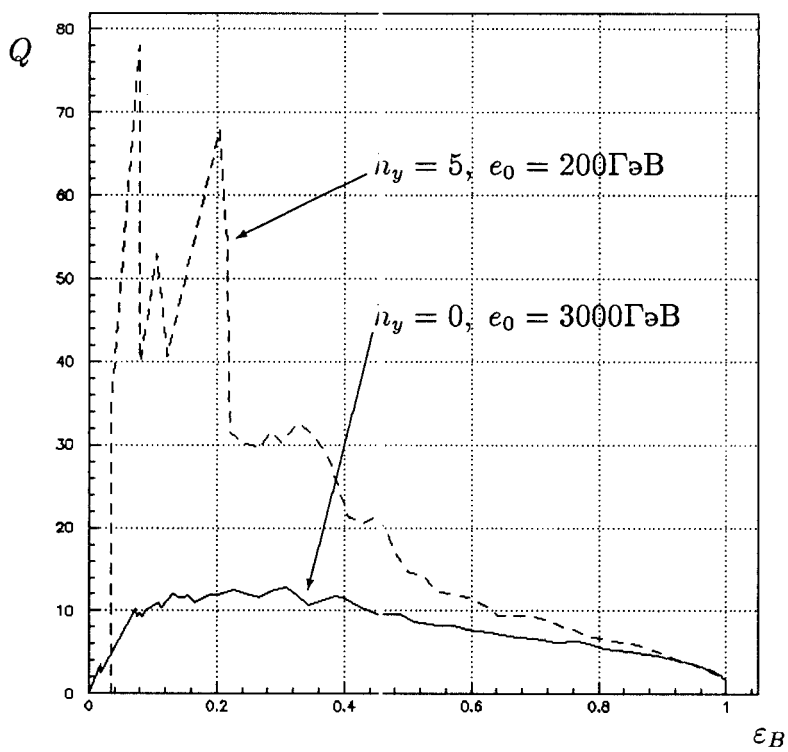


Рис. 13: Операционные характеристики триггера типа  $E_{ty}$  ( $|Y - Y_c| > h_y, e < e_0$ )

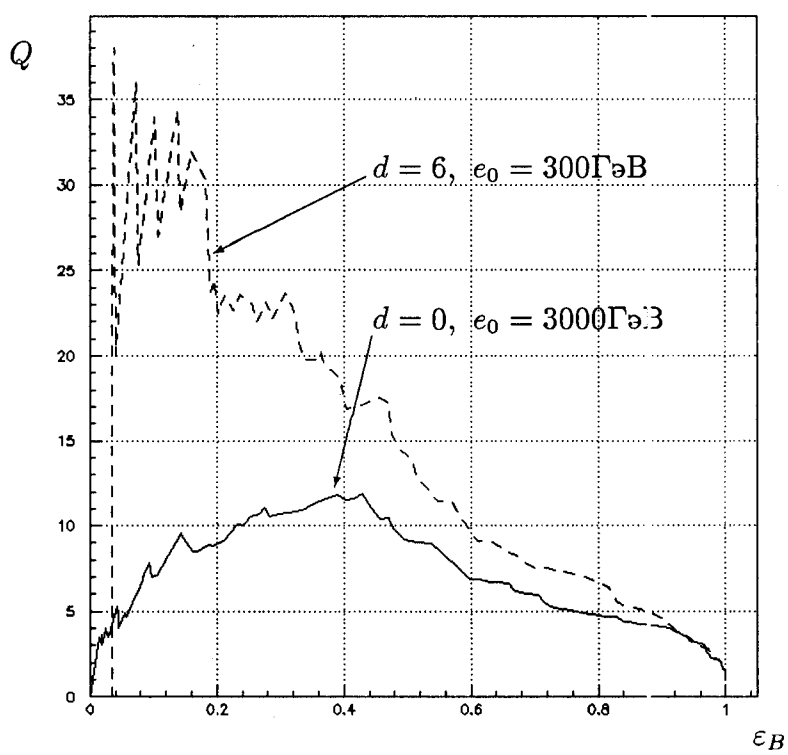


Рис. 14: Операционные характеристики триггера типа  $E_{tr}$  ( $r > d, e < e_0$ )

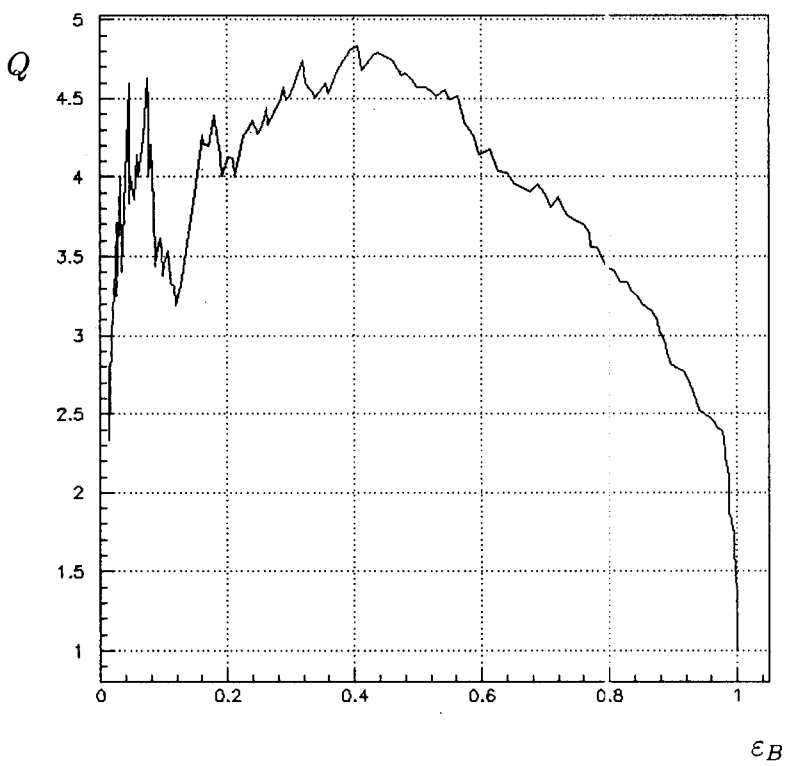


Рис. 15: Операционная характеристика триггера типа  $E_{с44}$

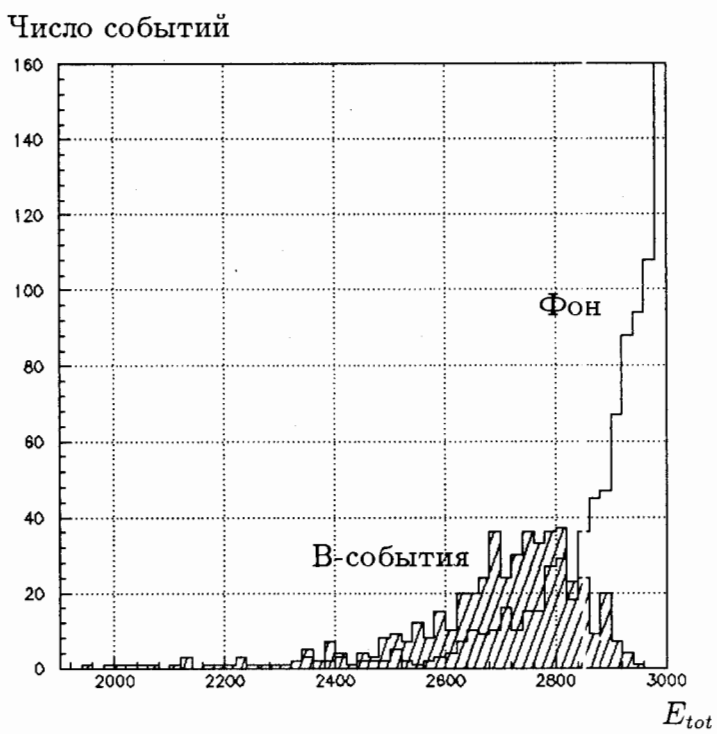


Рис. 16: Распределение фоновых и В-событий по полной энергии  $E_{tot}$

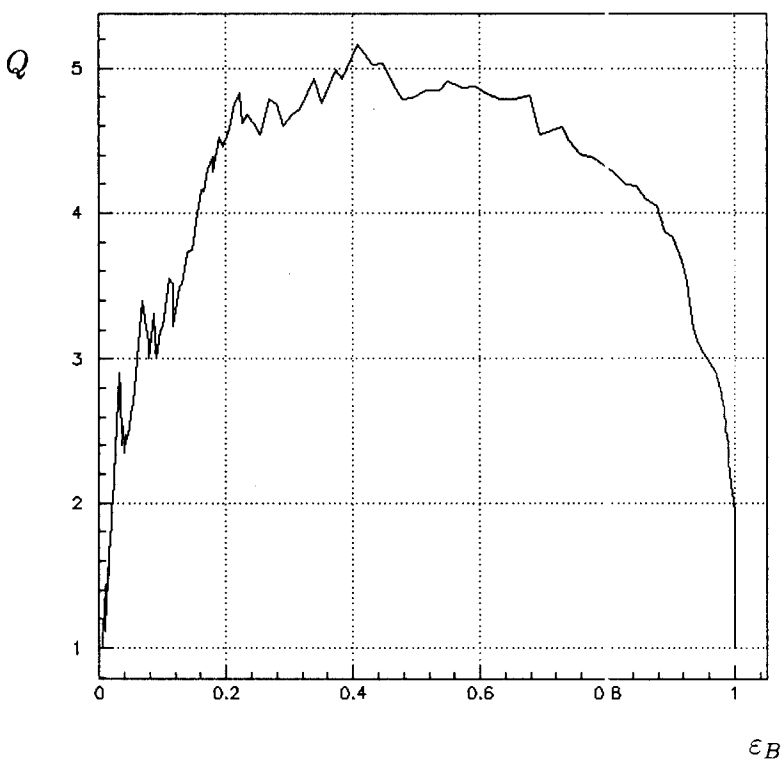


Рис. 17: Операционная характеристика триггера по полной энергии  $E_{tot}$

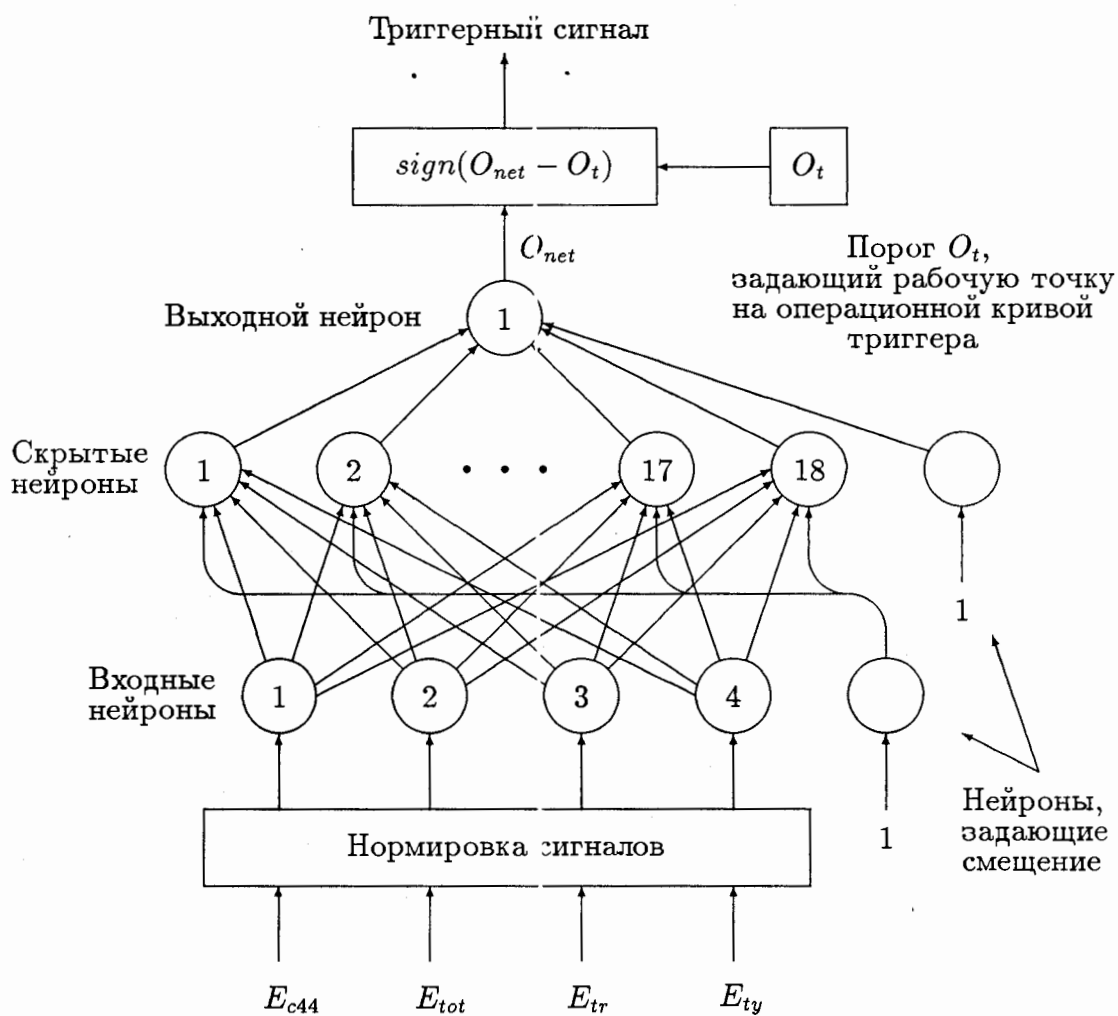


Рис. 18: Схема нейросетевого триггера

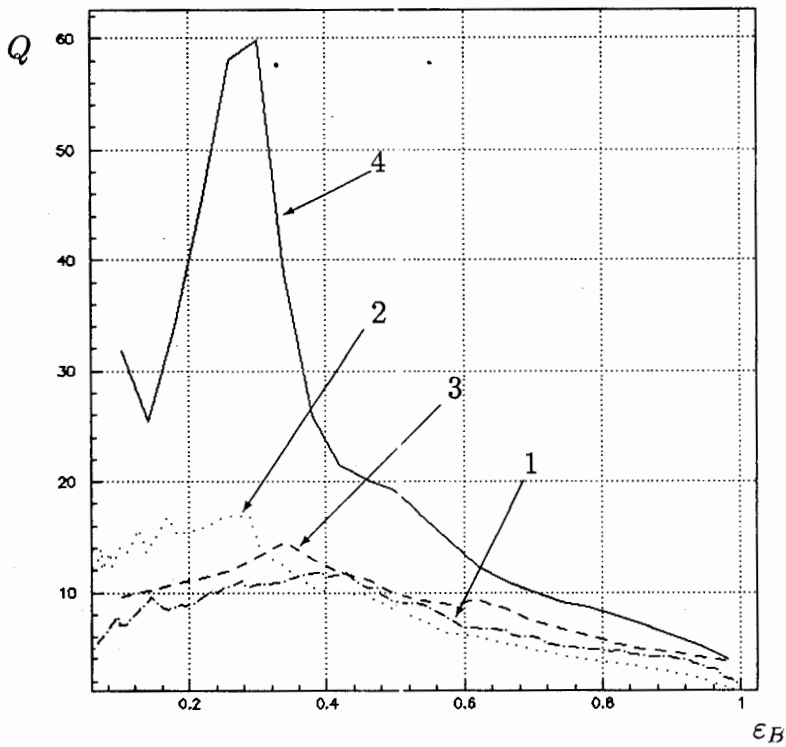


Рис. 19: Операционные характеристики различных триггеров:

1. по радиальной поперечной энергии  $E_{tr}$ ;
2. по  $y$ -компоненте поперечной энергии  $E_{tr}$  с обрезанием  $|Y - Y_c| > 50\text{см}$  – в соответствии с работой [12];
3. нейросетевой из работы [3];
4. нейросетевой, полученный в данной работе