

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Корниенко Дмитрий Сергеевич

# Паспортизация ФЭУ и изучение системы мониторирования электромагнитного калориметра установки ВЕС

Магистерская работа

Научный руководитель:  
к.ф.м.н Хохлов Ю.А.

Рецензент:  
к.ф.м.н. Мягков А.Г.

Протвино  
2010

## План

|   |    |
|---|----|
| 1. Введение.....  | 3  |
| 2. Обзор модернизации ЭМК.....                                  | 4  |
| 3. Система мониторинга ЭМК.....                                 | 7  |
| 4. Измерение параметров ФЭУ.....                                | 20 |
| 5. Вклад в энергетическое разрешение ЭМК<br>фотостатистики..... | 26 |
| 6. Параметры «шашлыков».....                                    | 34 |
| 7. Витые Шашлыки.....   | 36 |
| 8. Заключение.....  | 37 |
| 9. Приложение 1.....  | 39 |
| 10. Словарь терминов.....                                       | 47 |
| 11. Библиография.....   | 49 |

## **1. Введение**

Установка ВЕС была создана для разнообразных исследований адронных реакций. Но к текущему времени (поскольку с момента создания установки прошло более 20 лет) многие детекторы устарели или требуют серьезного ремонта, поэтому в данный момент происходит модернизация установки. В данной работе будут изучены некоторые параметры модернизированного Электромагнитного Калориметра (ЭМК), а также измерены характеристики фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и системы мониторинга ЭМК.

## 2. Обзор модернизации ЭМК

ЭМК на установке «ВЕС» расположен в конце детектирующего тракта, и предназначен для измерения энергии гамма-квантов и их координат. Соответственно, основными параметрами для ЭМК являются координатное разрешение и энергетическое разрешение. Данные с ЭМК являются весьма важными для реконструкции событий.

Старый ЭМК на основе счетчиков из свинцового стекла устарел, в связи с чем было принято решение сделать сэмплинг-калориметр типа «шашлык»[?], при этом модернизированный ЭМК по своим проектным характеристикам превосходит старый, а также имеет дополнительные улучшения:

### *а) Координатное разрешение*

Из-за уменьшения размера счетчиков с 43мм для свинцового стекла до 38мм для шашлыков, координатное разрешение улучшится.

### *б) Энергетическое разрешение*

Из-за увеличения количества света на единицу энергии гамма-кванта (в шашлыках сцинтилляция, в стекле черенковский свет)

### *в) Радиационная стойкость*

Свинцовое стекло под радиационной нагрузкой мутнеет — что приводит к снижению энергетического разрешения детектора. «Шашлыки» более радиационно стойки, что обусловлено их конструкцией. Поэтому дольше сохраняют свои параметры.

### *г) Унификация ФЭУ*

Переход со смеси 110 ФЭУ-110 для больших счетчиков и 84 ФЭУ-84-3 для маленьких, только на ФЭУ-84-3 (это стало возможно вследствие конструктивных особенностей шашлыков). Переход позволил считать все параметры только для 84 ФЭУ которые лучше по параметрам(больше квантовая эффективность, больше динодов, стабильнее сигнал, удобнее в монтаже), а также позволил упростить систему сбора данных (единый строб для интеграции, меньше время время интегрирования).

### *д) Переход с делителей на умножители Кокрофта-Уолтона*

Делители требовали 1кВт источника подпитки (1кВ на 1А). Доски распределения подпитки мешали доступу к ФЭУ и затрудняли ремонт.

Новая система на основе умножителей имеет решающие улучшения. После перехода на умножители стало возможно программно тонко настраивать напряжение на каждом канале ЭМК, а также выключать каналы по одному, что в старом ЭМК было технологически невозможно.

### *е) Система мониторинга*

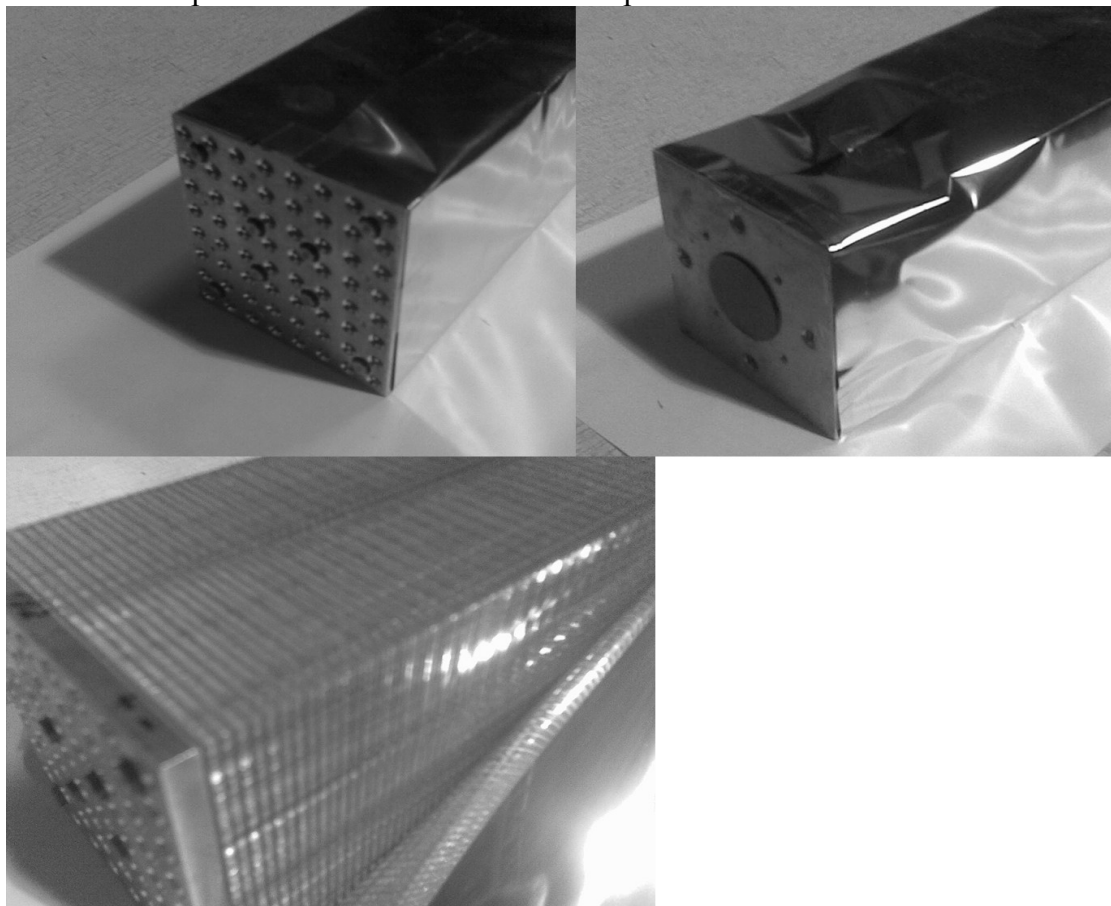
Переход к системе мониторинга светодиод на канал позволяет проще настраивать ЭМК и, в дальнейшем, возможно вносить поправки в данные. Засветка отдельных каналов легко настраивается, ее разброс между каналами намного меньше по сравнению со старой системой.

Изображение Больших шашлыков см. рис.1

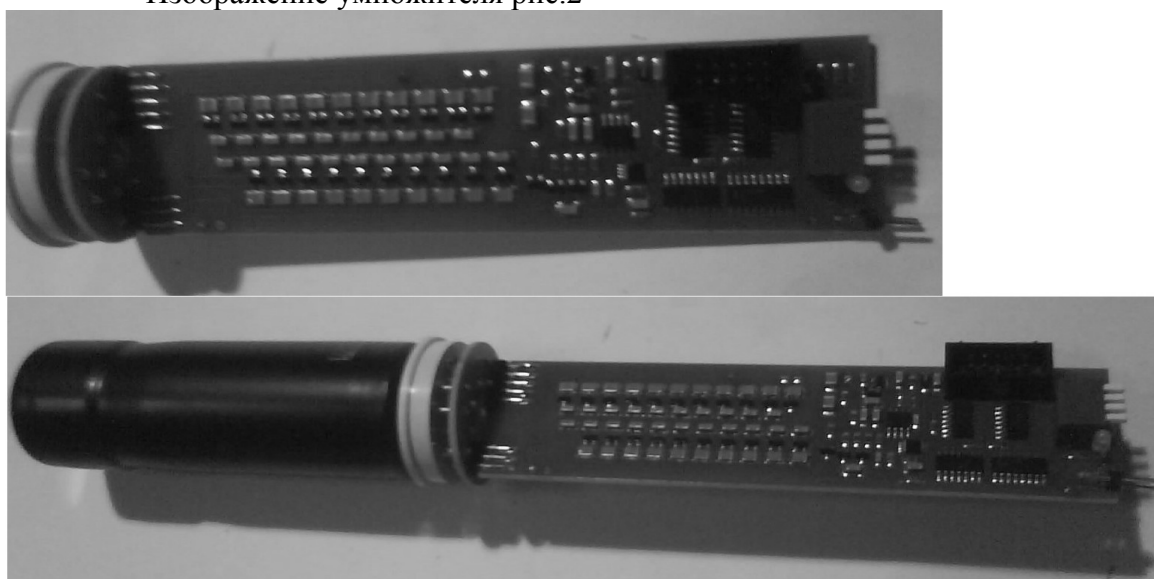
Изображение умножителей см. рис.2

Изображение свинцового стекла см. рис.3

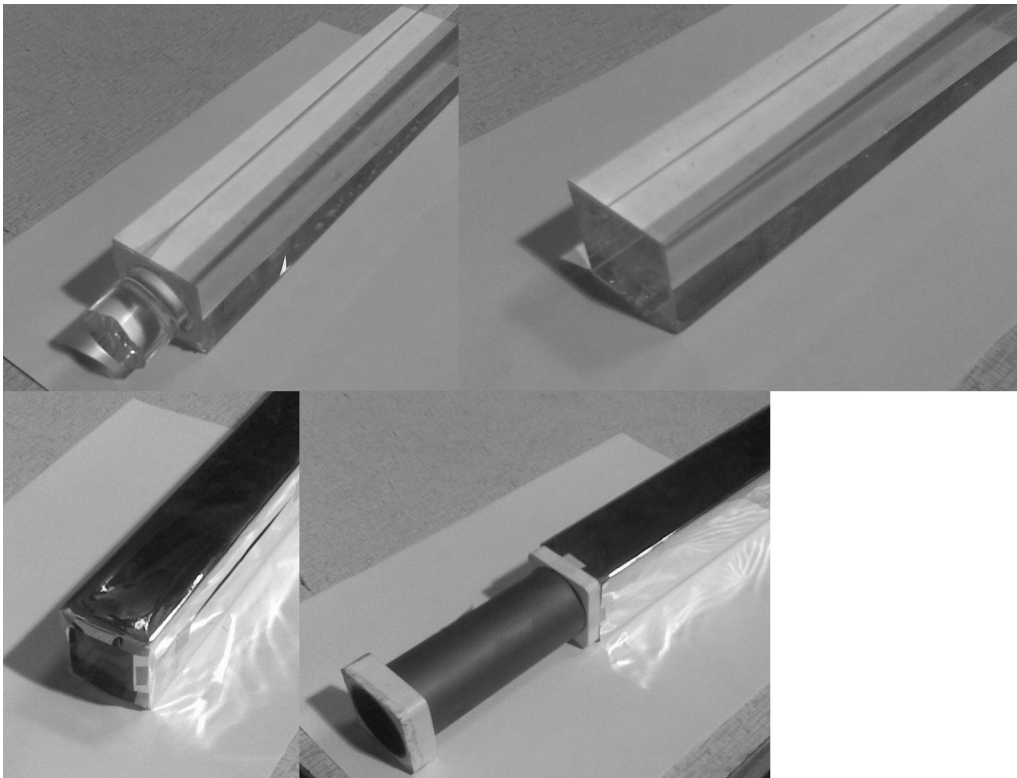
Изображение большого «шашлыка» рис.1



Изображение умножителя рис.2



Изображение свинцового стекла рис.3



### 3. Система мониторинга ЭМК

Система мониторинга ЭМК призвана решать несколько задач:

- Пусконаладочные работы, возможность мониторинга работы каналов ЭМК.
- Контроль стабильности ФЭУ (внесение поправок в данные), зависит от стабильности светодиодов и требует дополнительного изучения, что выходит за рамки данной работы.

При модернизации ЭМК система мониторинга претерпела существенные изменения: в начальном варианте свет от 4х мощных светодиодов разводился световодами, что при практически 100% перехвате света свинцовым стеклом было достаточно. Для шашлыка с торца захватывается очень малая часть света и переизлучается световодом (только часть переизлученная вдоль оси попадает в ФЭУ) — поэтому на каждый канал ЭМК поставлен ультрафиолетовый светодиод, так как световод возбуждается в районе ультрафиолета.

Причины выбора именно УФ-светодиода обусловлены несколькими соображениями. Первое это значительный прогресс в технике за 20 лет, соответственно удешевление простых светодиодов и сильно улучшение их качественных характеристик (стабильность и время излучения). Второе это ультрафиолетовый спектр излучения — подобран эмпирически, поскольку менее энергичные фотоны (даже синие) плохо переизлучаются зеленым световодом, что вполне объяснимо поскольку сцинтиллятор излучает в основном в ультрафиолете, и волокно выбрано специальным образом.

Был выбран светодиод VL-L314VC.

Данный светодиод обладает следующими параметрами:  
светодиод ультра-фиолетовый (длина волны 405 нм), угловая направленность 30 градусов, диаметр 3мм,  
световой поток 150мКд при токе 20 мА.

Схема поджига светодиодов для ЭМК установки ВЕС была разработана В.П. Сугоняевым, и принципиально выглядит следующим образом:

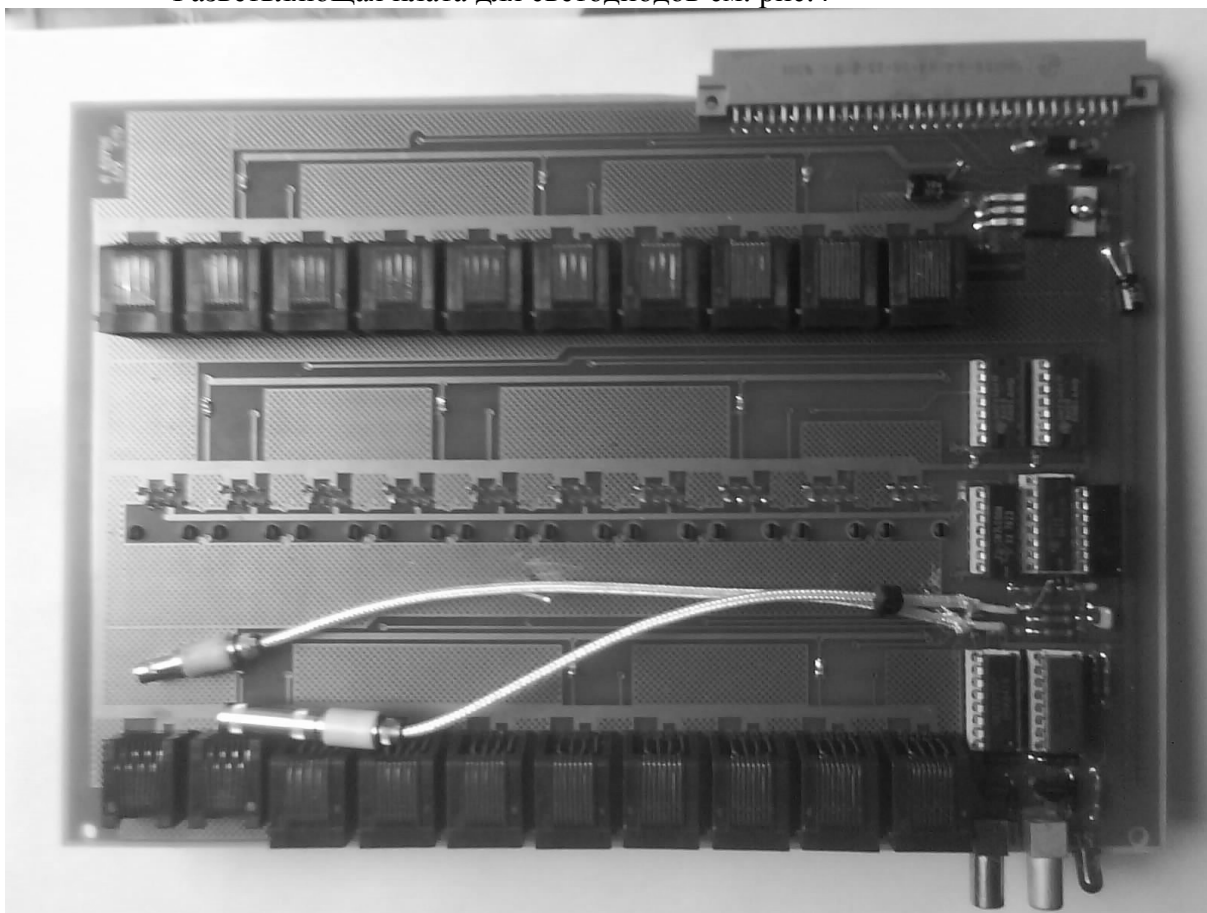
- Цифровой генератор Tektronix AFG3102 выдает NIM-сигнал шириной 50 нс
- NIM-сигнал преобразуется в LVTTTL-сигнал и разветвляется
- полученные LVTTTL сигналы преобразуются в LVDS-сигналы и кабелями (скрученные пары категории 5е) передаются на LED-драйверы
- на плате LED-драйвера LVDS-сигнал обратно преобразуется в LVTTTL, последний сигнал управляет CMOS-ключом, который подсоединяет группу светодиодов с балластными сопротивлениями к регулируемому источнику питания (~ 6.0В) или к «земле» в зависимости от уровня управляющего сигнала.

Изображение разветвляющей платы см. рис.4

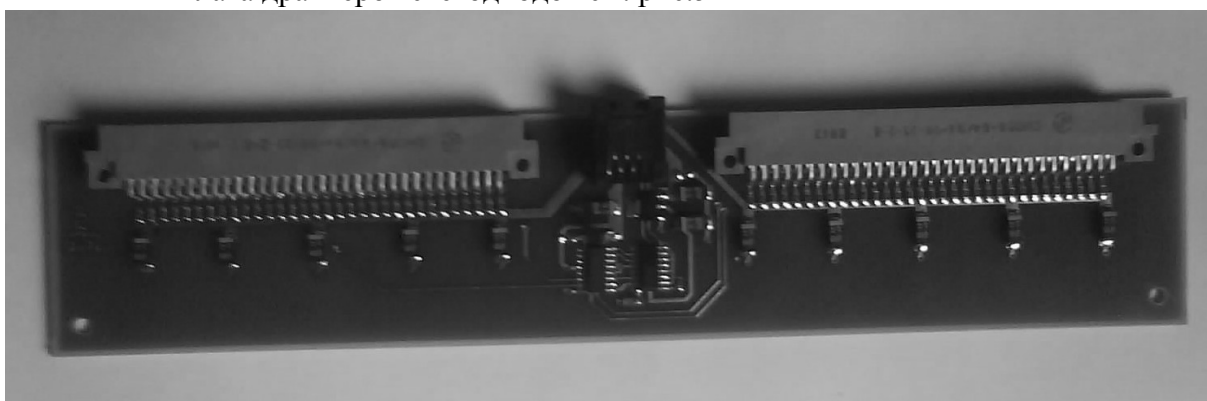
Изображение платы драйвера светодиодов см. рис.5

Изображение отклика ФЭУ от УФ светодиода см. рис.6

Разветвляющая плата для светодиодов см. рис.4

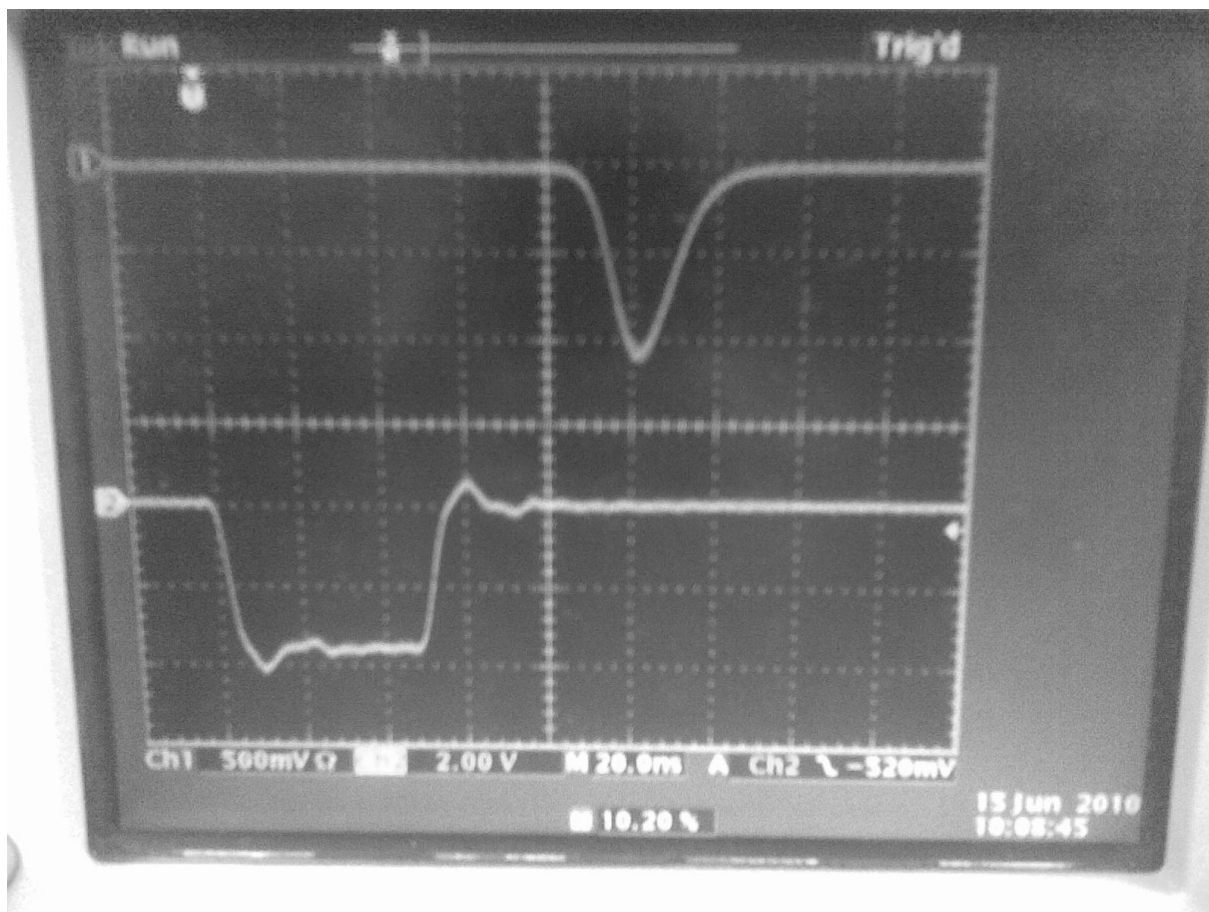


Плата драйверов светодиодов см. рис.5





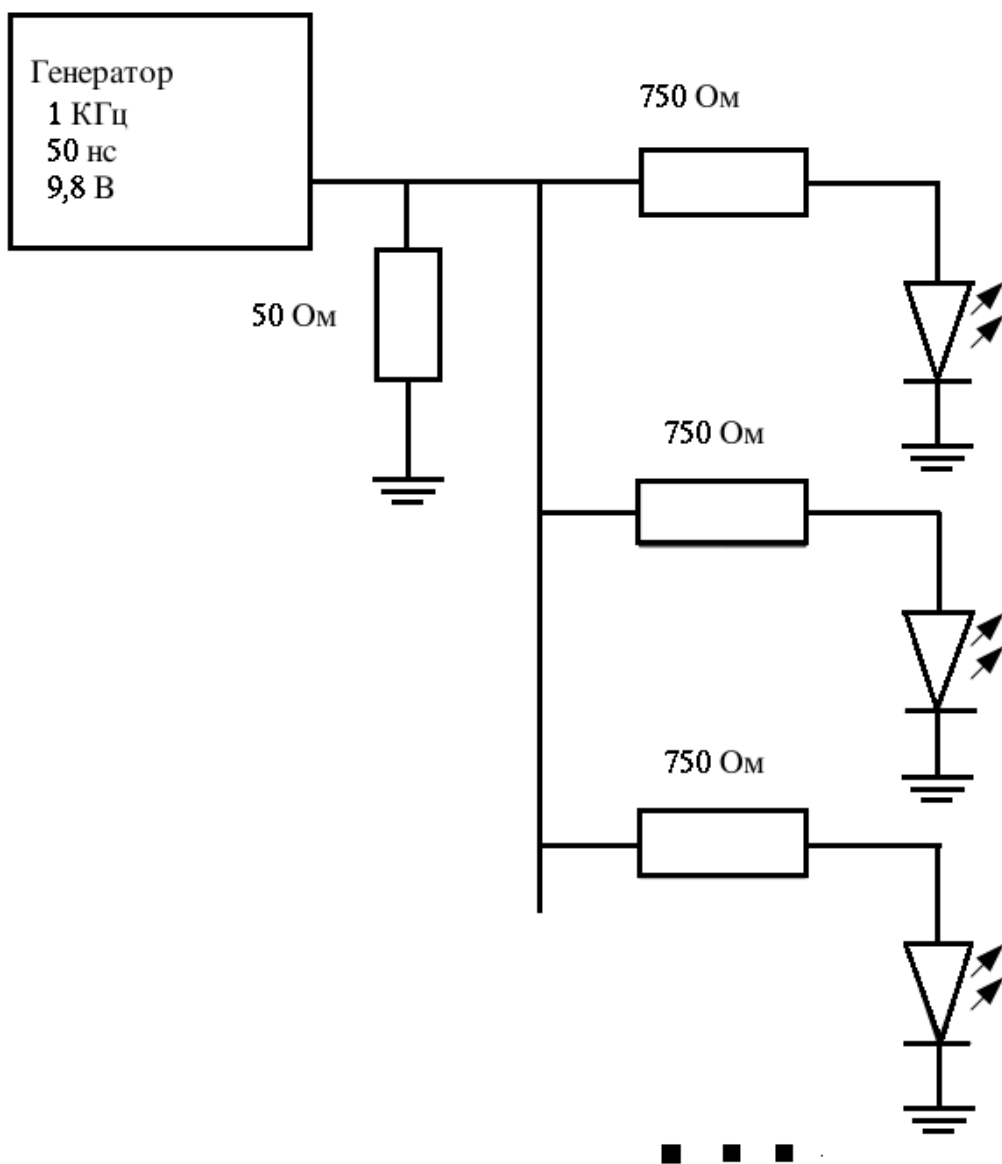
Характерный вид отклика ФЭУ от УФ светодиода,  
канал 1 — импульс с ФЭУ, канал 2 — поджигающий импульс рис.6



В предварительном тестовом сеансе (38-м) была проверена стабильность УФ-светодиодов.

Система мониторинга сборки «шашлыков» 5x5 была реализована через прямое подключение схемы к генератору см. рис.7

Система мониторинга сборки «шашлыков» 5x5 рис.7



В рамках работ 38 сеанса были собраны данные для определения стабильности светодиодов.

6 декабря 2009г. Сохранены гистограммы:

в 16:02; 17:07; 18:03; 19:00; 20:02; 21:00; 22:02; 23:08; 23:53

(elog:run38:424 <http://pcbech.ihep.su/elog/run38/424> )

(pcbec2:/var/lib/onl/run38/histograms/)

center\_03.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_17-07.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_18-03.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_19-00.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_20-02.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_21-00.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_22-02.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_23-08.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_23-53.root

ecal\_electrons\_led\_stability\_23-59.root

Для каждой из сохраненных гистограмм (по всем 25 каналам) получены среднее и средне квадратичное отклонение. После чего построены гистограммы среднего и средне квадратичное отклонение, для каждого канала.

Гистограммы среднего см рис.8

Гистограммы средне квадратичное отклонение. см рис.9

Сведем данные из гистограммы по средним (рис.8) в таблицу:

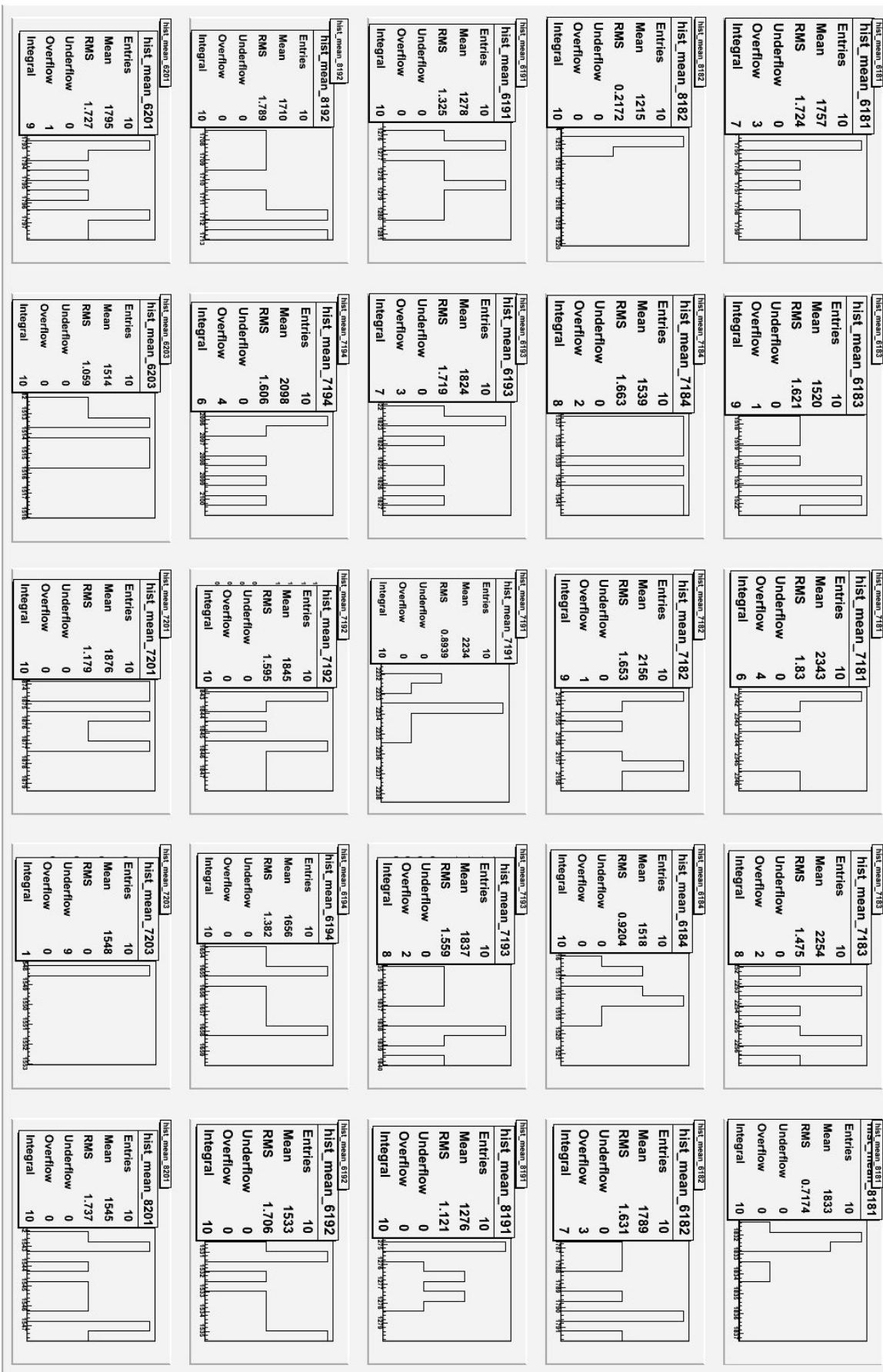
| Cell | Mean    | RMS      | (RMS/Mean)*100% |
|------|---------|----------|-----------------|
| 6181 | 1758.39 | 2.1445   | 0.121958        |
| 6183 | 1520.90 | 1.48479  | 0.0976257       |
| 7181 | 2345.76 | 2.56282  | 0.109253        |
| 7183 | 2255.39 | 1.45786  | 0.0646389       |
| 8181 | 1832.56 | 0.753782 | 0.0411327       |
| 8182 | 1214.96 | 0.225438 | 0.0185552       |
| 7184 | 1540.07 | 1.79226  | 0.116375        |
| 7182 | 2156.67 | 1.58053  | 0.0732857       |
| 6184 | 1518.00 | 0.859431 | 0.056616        |
| 6182 | 1790.60 | 2.03251  | 0.11351         |
| 6191 | 1278.23 | 1.25458  | 0.0981498       |
| 6193 | 1825.91 | 2.40736  | 0.131844        |
| 7191 | 2233.63 | 0.940123 | 0.0420895       |
| 7193 | 1838.36 | 1.76168  | 0.0958289       |
| 8191 | 1276.58 | 1.0521   | 0.0824155       |
| 8192 | 1710.74 | 1.68209  | 0.0983253       |
| 7194 | 2099.65 | 2.25129  | 0.107222        |
| 7192 | 1845.63 | 1.44034  | 0.0780406       |

|      |         |         |           |
|------|---------|---------|-----------|
| 6194 | 1656.19 | 1.38271 | 0.0834874 |
| 6192 | 1533.45 | 1.53498 | 0.1001    |
| 6201 | 1795.98 | 1.68505 | 0.0938234 |
| 6203 | 1514.33 | 1.05849 | 0.0698982 |
| 7201 | 1875.64 | 1.17547 | 0.0626703 |
| 7203 | 109.443 | 0.01590 | 0.0145331 |
| 8201 | 1545.35 | 1.63924 | 0.106076  |

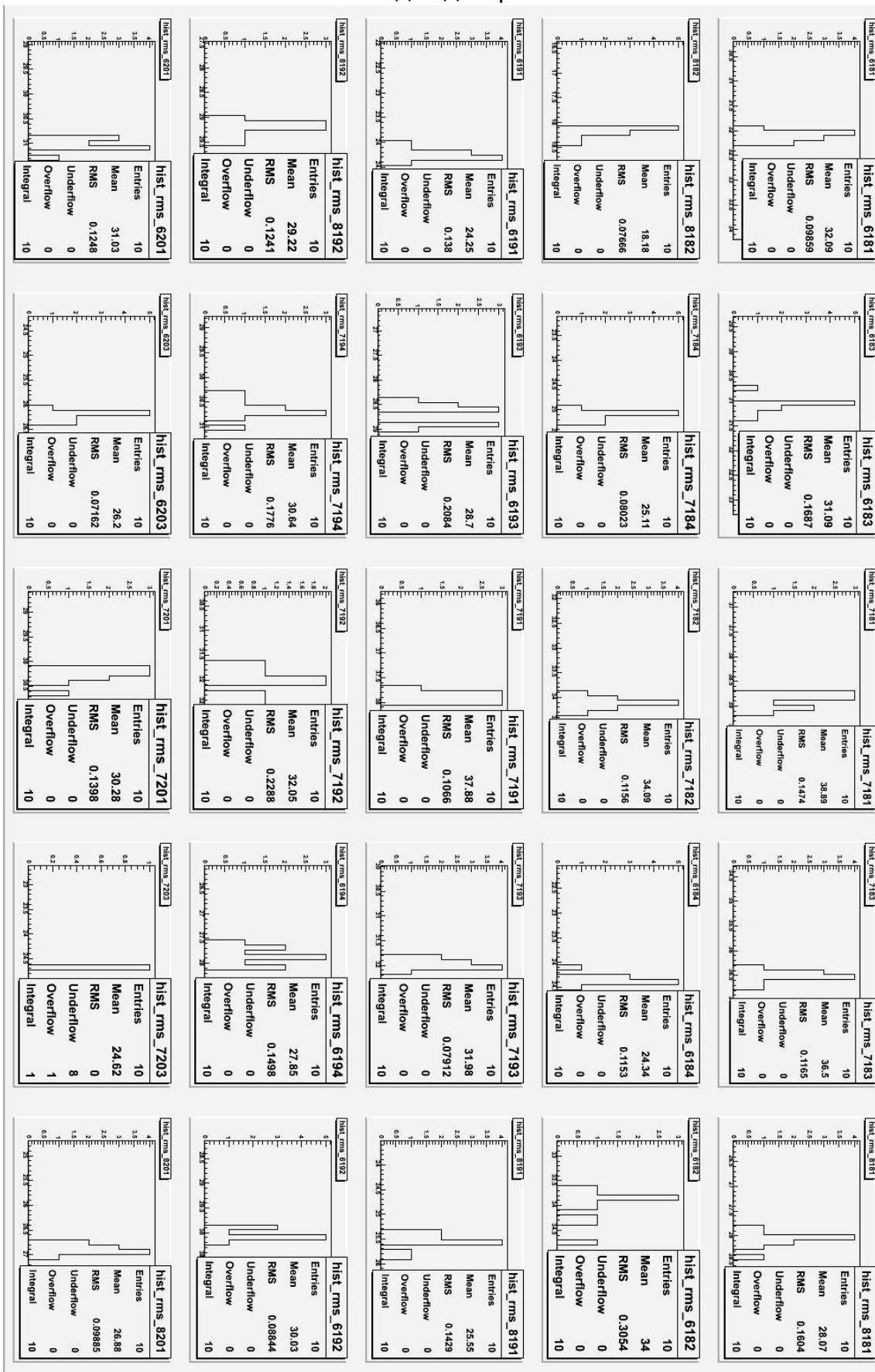
Соответственно за ~7 часов колебания не превысили 0.15%, поэтому можно говорить о локальной стабильности светодиодов.

О глобальной стабильности говорить пока нельзя, поскольку исследование выходит за рамки данной работы, и требует как минимум работы с температурой внутри ЭМК и дальнейших исследований.

Гистограммы значений средних для светодиодов рис.8



## Гистограммы значений средне квадратичных отклонений для светодиодов рис.9

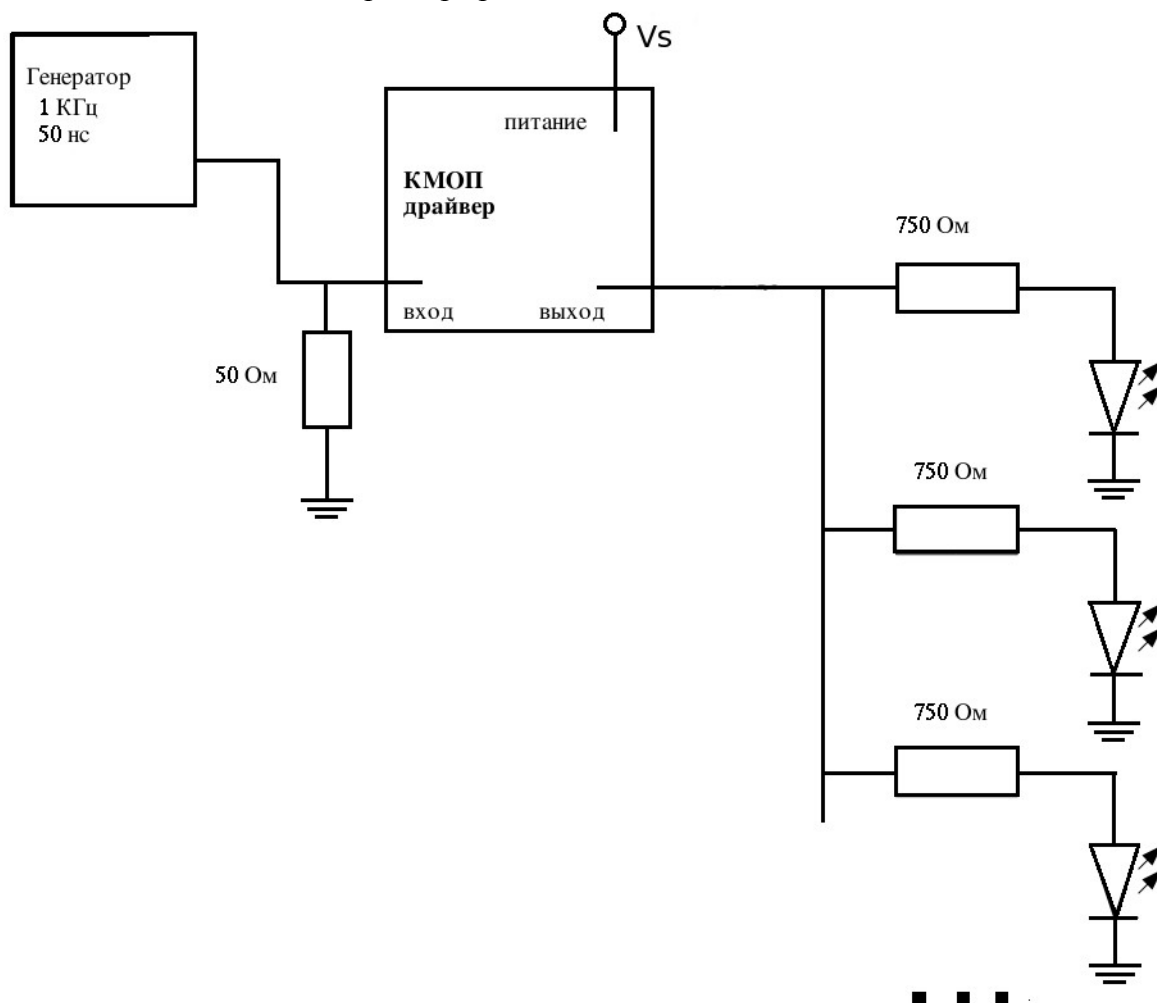


После 38 сеанса было проведено начальное исследование предполагаемой системы мониторинга.  
(25 декабря 2009 года (<http://pcbech.ihep.su/elog/GAMS/61>) )

Для сбора данных засветили один счетчик используя КМОП-драйвер, один драйвер поджигает сборку из 25 светодиодов, последовательно с каждым светодиодом включен балласт 750 Ом. Схема см рис.10  
Выставлено высокое напряжение через умножители 9,6(по кодам блока Сугоняева В.П. (примерно составляет 1152 В).

Начальные параметры исследования: питание 9.20В, длительность поджига 50нс.

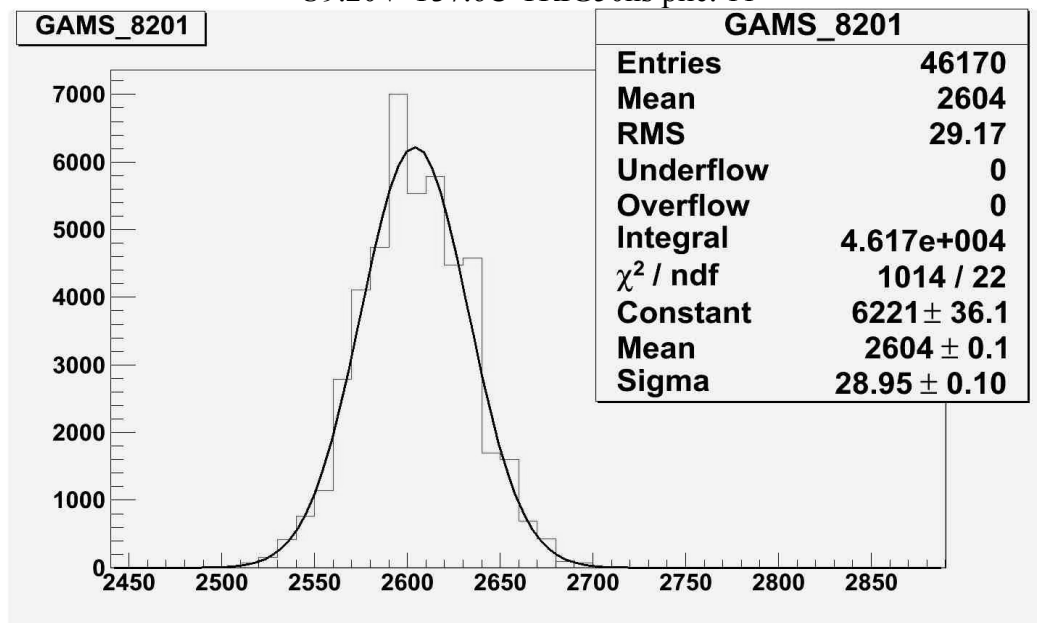
Схема включения КМОП-Драйвера рис.10



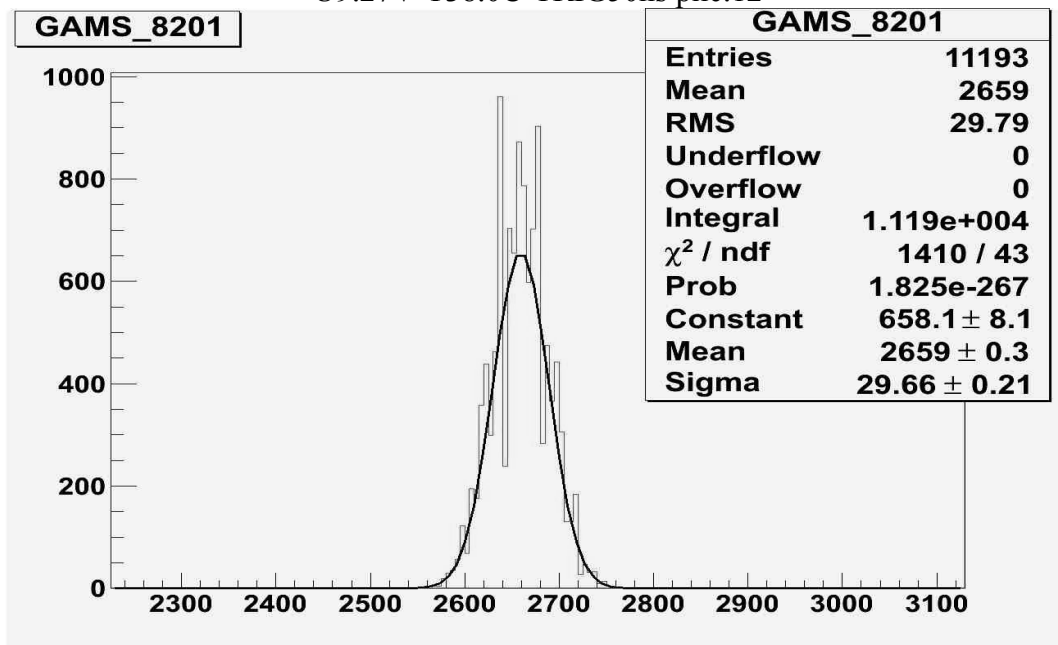
Получены следующие данные:

- 1) Питание 9.20В, температура 37.6С, длительность импульса 50нс, Mean = 2604, RMS = 29 (cmos-driver-U9.20V-T37.6C-TRIG50ns.root) см рис.11
- 2) Питание до 9.27V, температура 38.0С, длительность импульса 50нс, Mean = 2660, RMS = 29.9 (cmos-driver-U9.27V-T38.0C-TRIG50ns.root) см рис.12

U9.20V-T37.6C-TRIG50ns рис. 11



U9.27V-T38.0C-TRIG50ns рис.12

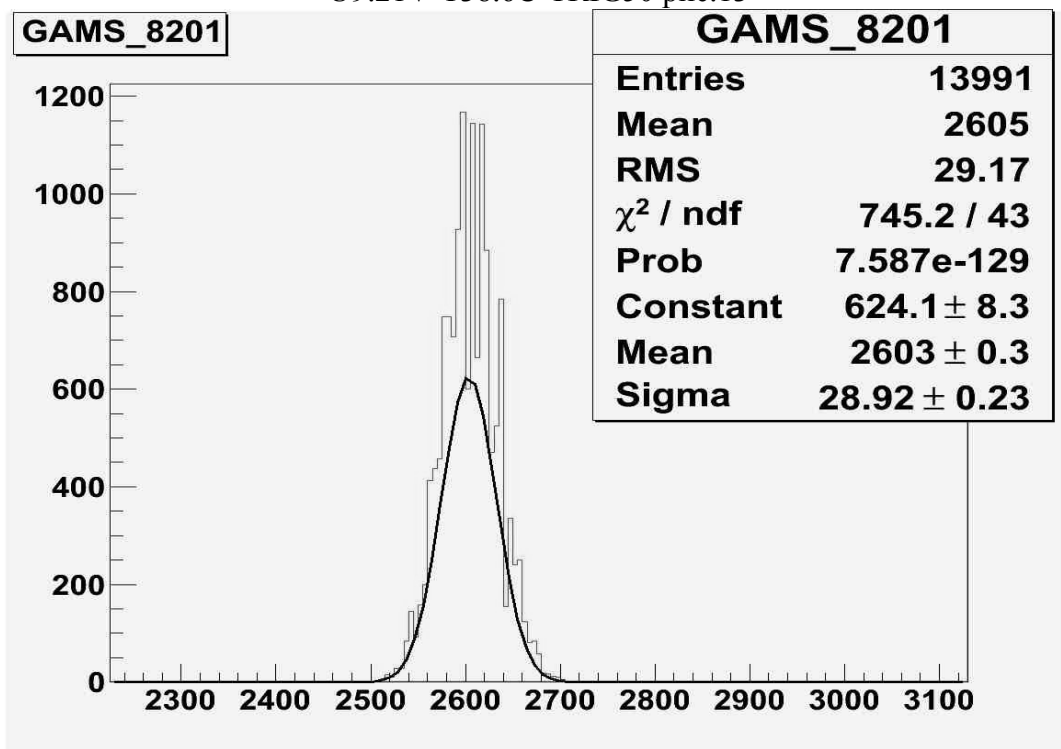


Из измерений 1 и 2 вычислим на основе данных точек 1 и 2 чувствительность сигнала (в отсчетах adc) к напряжению питания,  $(2659-2604)/70\text{мВ} = 7,9/10\text{мВ}$ ;  $7,9/2600 \sim 0.3\%$  получаем чувствительность по напряжению питания  $0.3\%/10\text{мВ}$

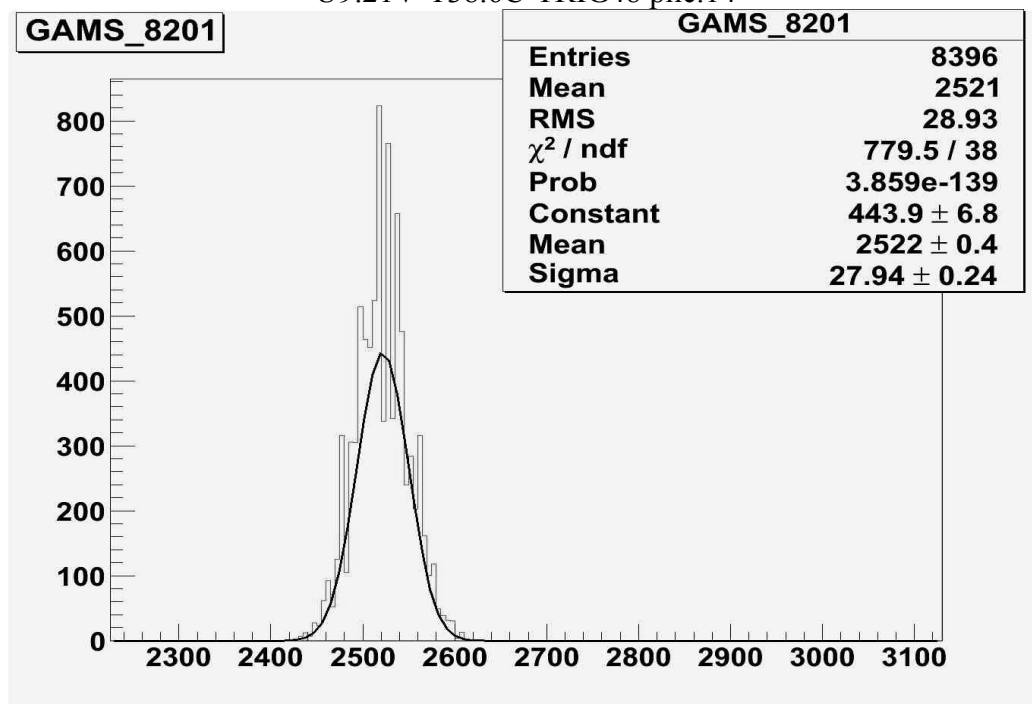


- 3) Питание 9.21V, температура 38.6C, длительность импульса 50нс, Mean=2603, RMS=29. (cmos-driver-U9.21V-T38.6C-TRIG50ns.root) см. рис.13
- 4) Питание 9.21V, температура 38.6C, длительность импульса 48нс., Mean = 2522, RMS = 28 (cmos-driver-U9.21V-T38.6C-TRIG48ns.root) см. рис.14

U9.21V-T38.6C-TRIG50 рис.13



U9.21V-T38.6C-TRIG48 рис.14



Из измерений 3 и 4 получим зависимость чувствительности сигнала (в отсчетах adc) от длительности импульса  $(2603-2522)/2\text{нс}=40.5/\text{нс}$ , или  $1.6\%/1\text{нс}$

Чувствительность по напряжению  $0.3\%/10\text{мВ}$  и чувствительность по длительности  $1.6\%/1\text{нс}$  для поджига светодиода КМОП-драйвером позволяют использовать проверенную схему, и создать систему мониторинга без использования прецизионных приборов.

## 4. Измерение параметров ФЭУ

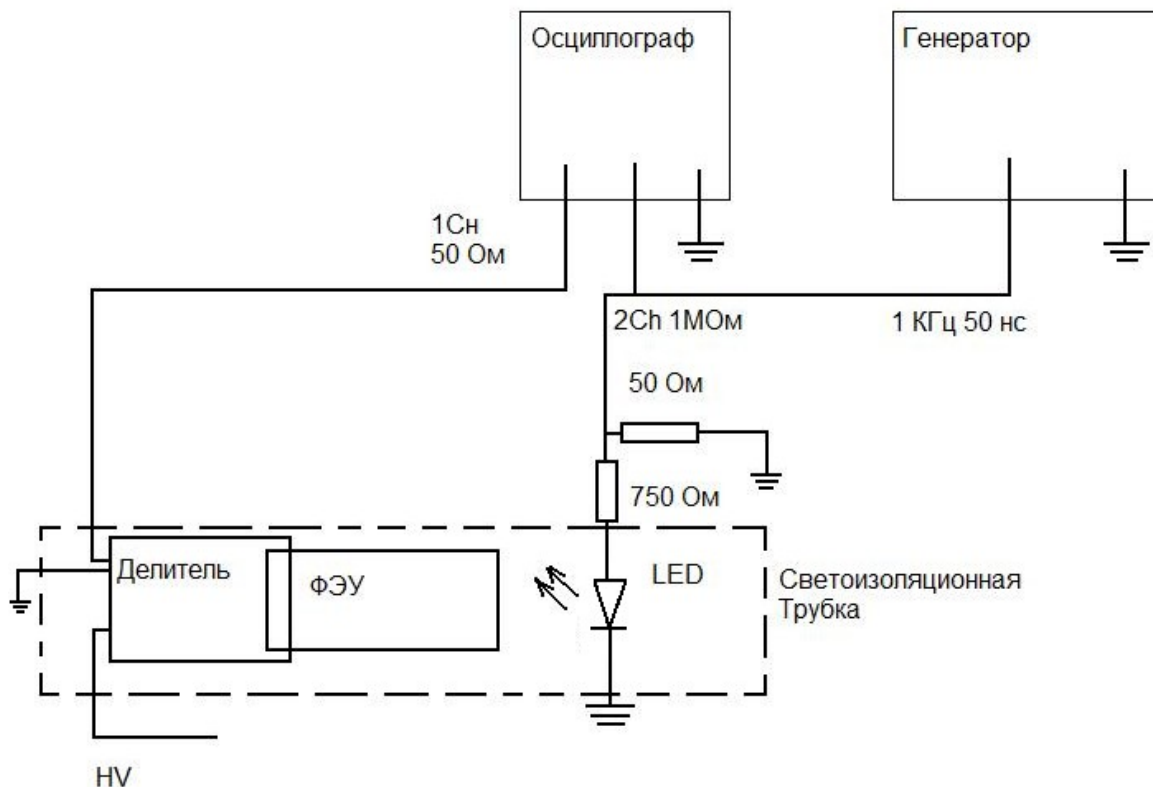
В связи с перестройкой ЭМК, а также с переходом всего прибора только на ФЭУ-84-3 было принято решение измерения параметров ФЭУ и сравнение полученных данных с паспортными (заводскими).

Методика состоит в сборе одноэлектронных спектров и дальнейшем анализе данных. Для реализации методики был собран стенд на генераторе и осциллографе, а также карте GPIB для управления приборами и получения данных с осциллографа см. рис. 15.

Основные параметры стенда:

- рабочее напряжение 1.8 КВ.
- светодиод зеленый L-1344GT (80 мКД, 555 нм)(поскольку волокно шашлыков переизлучает свет в зеленой области)
- Частота генератора 1КГц.
- Длительность импульса 50нс
- Ориентировочное напряжение поджига 2В

Схема стенда рис.15



После написания программ и их отладки был совершен переход на ящик, на 12 позиций ФЭУ, для ускорения работы. Также в схему считывания сигнала, между выходом делителя и входом осциллографа, был добавлен усилитель, с усилением по току в 200 раз [2]. Это было сделано для увеличения соотношения сигнал/шум, и более точного сбора данных.

*Принцип работы стенда:*

По GPIB через специальную плату в компьютер читаются подряд все осциллограммы — скорость 20 шт/сек. Частота генератора 1КГц поэтому считается 20 из 1000 осциллограмм в секунду. Поскольку время считывания осциллограммы не зависит от ее формы, а определяется внутренними задержками осциллографа, то используемая процедура не искажает статистическое распределение сигналов с ФЭУ.

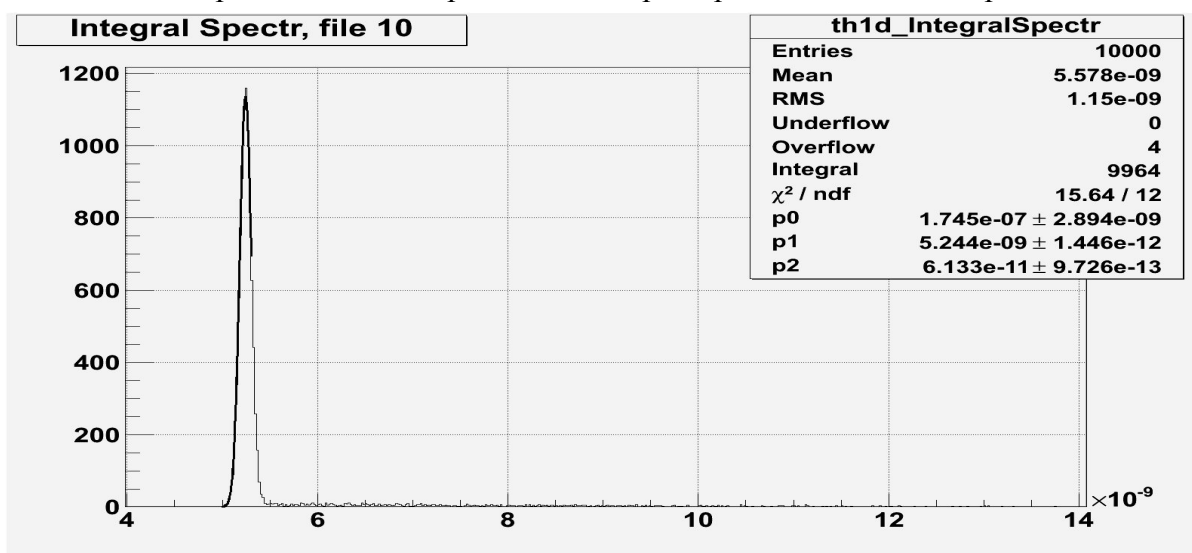
Цикл измерений проходит следующим образом:

- 1) Набирается осциллограммы при одноэлектронном режиме засветки.
- 2) Набирается шум, т.е. Малый сигнал поджига светодиода (светодиод закрыт)— только синхронизация.
- 3) Записываются данные в виде осциллограмм в бинарном формате.

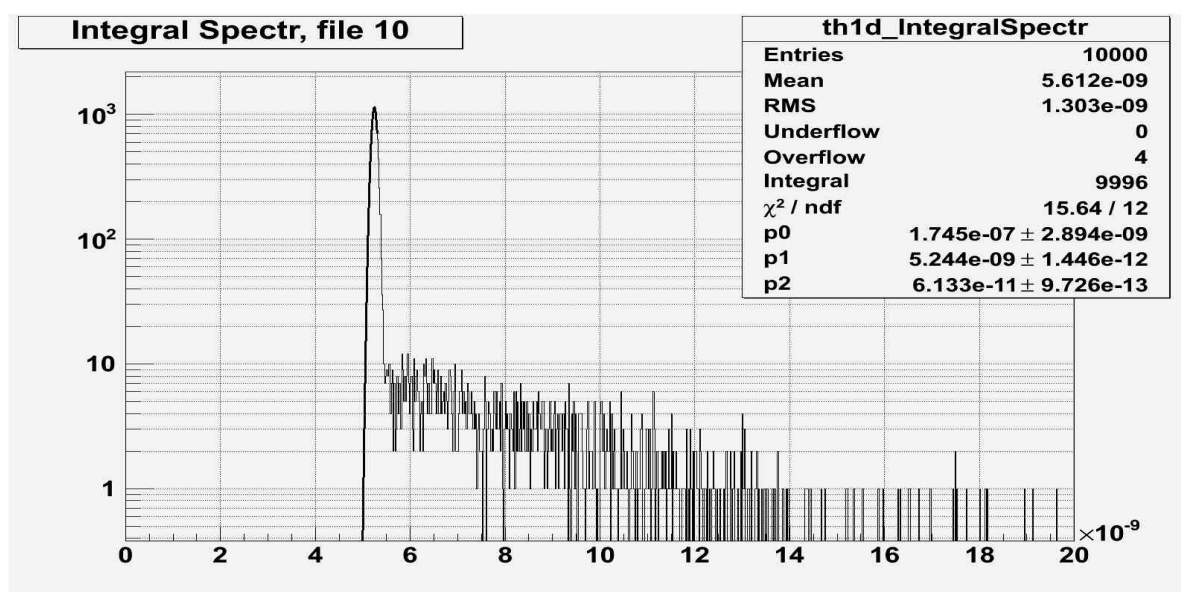
Обрабатываются данные в любой момент. Сначала с воротами(для уменьшения шума) интегрируются осциллограммы( интегрирование с воротам-интегрирование только той части осциллограммы где есть сигнал, остальное отбрасывается)

Строится гистограмма одноэлектронного спектра см рис. 16 и рис. 17.

Гистограмма одноэлектронного спектра нормальный масштаб рис.16

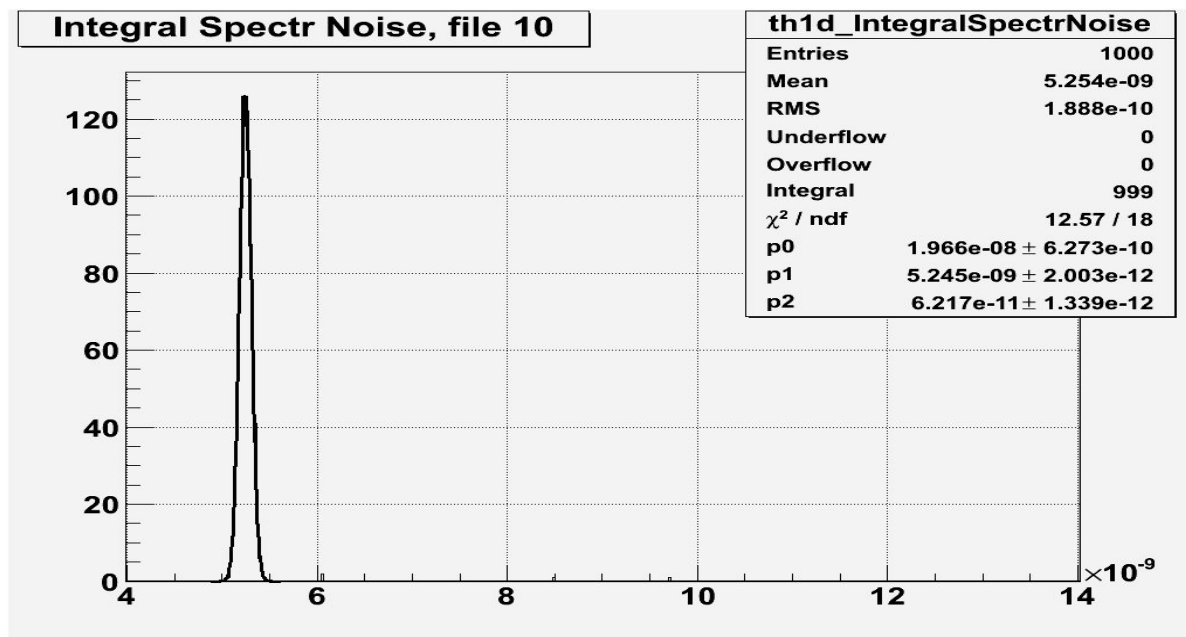


Гистограмма одноэлектронного спектра логарифмический масштаб рис.17



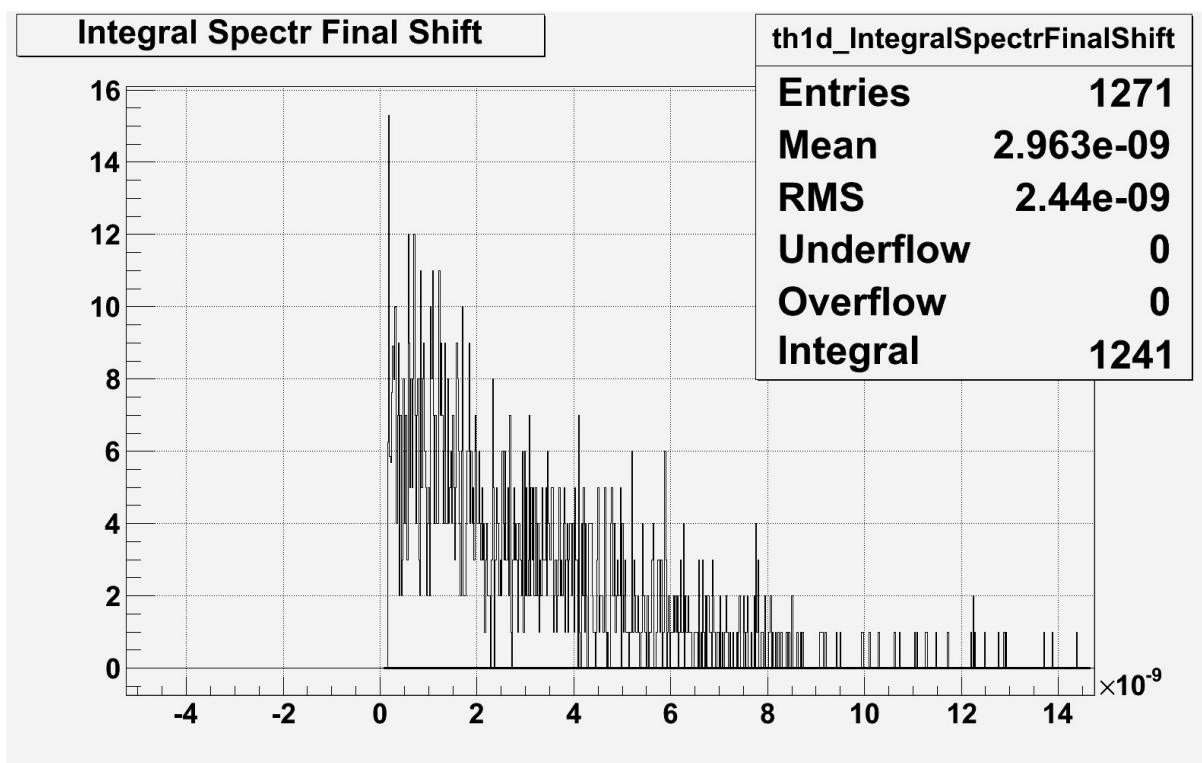
Аналогичным образом после интегрирования строится гистограмма шума  
см. рис. 18

Гистограмма шумового спектра .18



Используя полученные данные из сигнала вычитается нормированный шум и пьедестал  
см рис. 19

Гистограмма (сигнал - шум-пьедестал) для одноэлектронного спектра рис. 19



Из гистограммы (сигнал - шум - пьедестал) (рис.19) мы определяем параметры ФЭУ: среднее(усиление), средне квадратичное отклонение, их отношение  $\frac{A_1}{\sigma_1}$  и относительную квантовую эффективность(ОКЭ (21)). Эти параметры являются определяющими для ФЭУ.

### **Сравнение паспортных данных и измерений.**

Одной из целей работы являлось понять — можно ли отбраковывать(выбирать) ФЭУ с помощью их паспортов, а не только с помощью прямых измерений. Попробуем найти зависимости.

Из паспорта ФЭУ мы узнаем световую чувствительность фотокатода, в А/Лм. А также напряжение питания при световой анодной чувствительности 100 А/Лм.

Световую чувствительность фотокатода можно коррелировать с квантовой эффективностью. А комбинацию напряжения анодной чувствительности и световой чувствительности с усилением ( средним ) для ФЭУ в одноэлектронном спектре.

(S — световая чувствительность, V — напряжения для достижения тока 100А/Лм)  
 $\frac{100}{S}$  - Усиление ФЭУ.

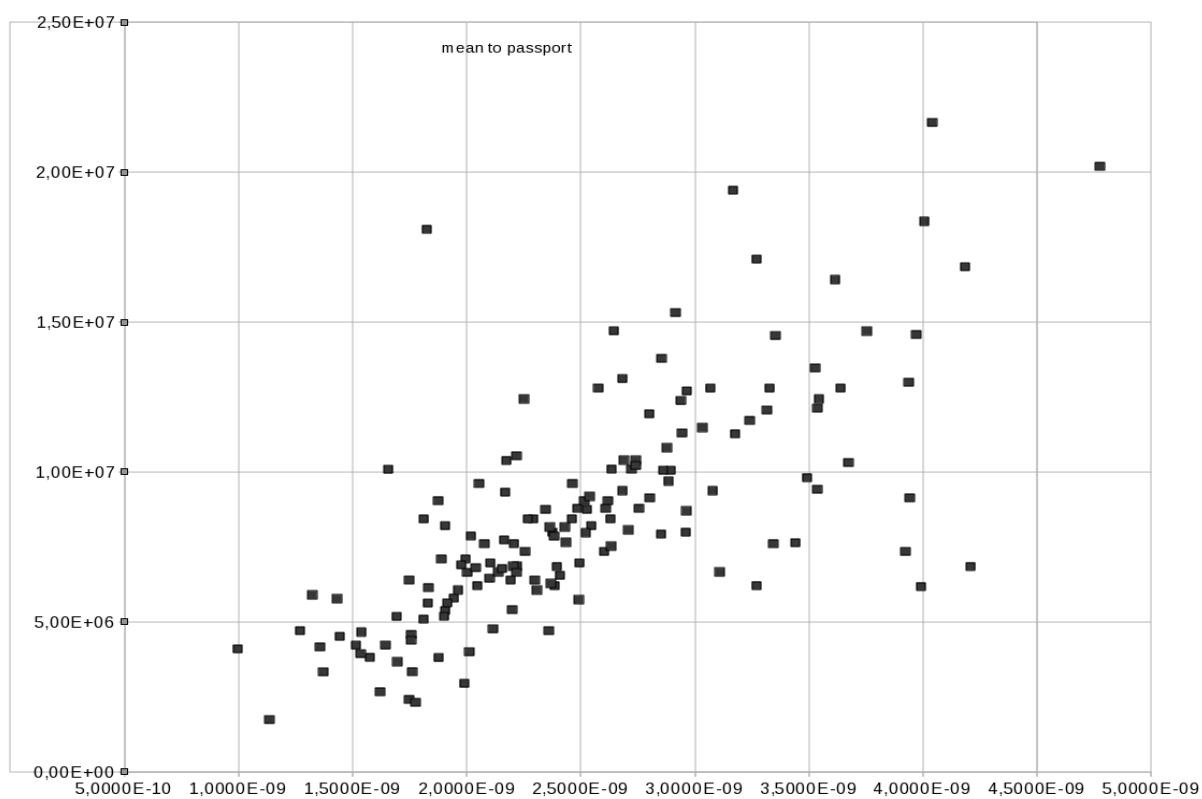
$2^{\frac{1800-V}{100}}$  - усиление сигнала из-за поднятия напряжения до 1.8 кВ( в 2 раза на 100В)

$\frac{100}{S} * 2^{\frac{1800-V}{100}}$  - Усиление ФЭУ

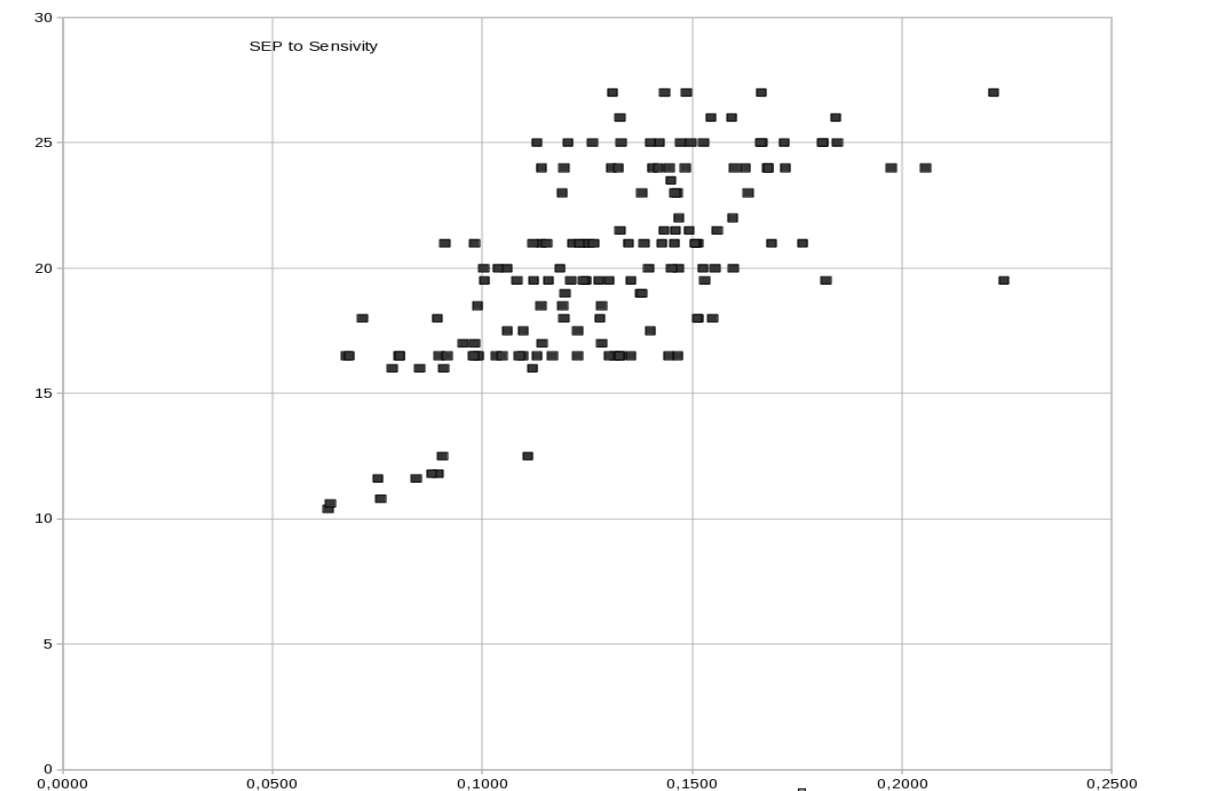
Построим множество точек: паспортные - данные измерений.

Построим квантовую эффективность в зависимости от светочувствительности(паспорт).

Усиление ФЭУ и паспортные данные рис.20



Квантовая чувствительность ФЭУ и световую чувствительность(паспорта) рис.21



Из рис.20 и рис.21 наблюдаем корреляцию между паспортными данными и измеренными, что в первую очередь говорит о правильности методики.

Наблюденные корреляции не 100% поскольку, паспортные данные получены при засветке стандартным источником света имеющим определенный спектр (измеряется в люменах). А наш источник света (как и счетчик ЭМК) имеет узкий спектр в зеленой области.

Заканчивая тему измерения ФЭУ, также следует отметить следующие: существуют так называемые «шумные» ФЭУ, они обладают выбросами при снятии шумовой характеристики. Нормальные высоким меньше 5%(хорошие ФЭУ - меньше 2% - зависит от выдержки ФЭУ под высоким, трудно снимаемая характеристика). «Шумные» ФЭУ обладают выбросами более 10%, выбросы не заметны на рабочем напряжении 1.3КВ, но свидетельствуют о плохом ФЭУ. Также бывают пробои из-за плохого вакуума. Приведенные выше аргументы — свидетельствуют, что стоит тестировать все ФЭУ в каком-то виде, при напряжении 1.8КВ



## 5. Вклад в энергетическое разрешение ЭМК фотостатистики

Одна из основных характеристик ЭМК — энергетическое разрешение, в него дают вклад многие параметры, в этой работе будет исследован вклад фотостатистики в разрешение.

Поскольку одноэлектронный спектр подчиняется пуассоновской статистике, то для многоэлектронного имеем:

$$\left(\frac{\sigma_n}{A_n}\right)^2 = \frac{\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2 + 1}{N} + c$$

$A_1$  и  $\sigma_1$  — одноэлектронные среднее и сигма

$A_n$  и  $\sigma_n$  — многоэлектронные среднее и сигма

$N$  — число фотоэлектронов

Наше предположение состоит в том, что  $c$  мало тогда:

$$N \approx \left(\frac{A_n}{\sigma_n}\right)^2 \left(\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2 + 1\right)$$

параметры одноэлектронного спектра мы знаем из измерений.

Дальше возможно 2 пути — индивидуальный коэффициент на каждый счетчик и общий коэффициент, применим оба метода.

Чтобы убедиться, что наше предположение верно, построим график:

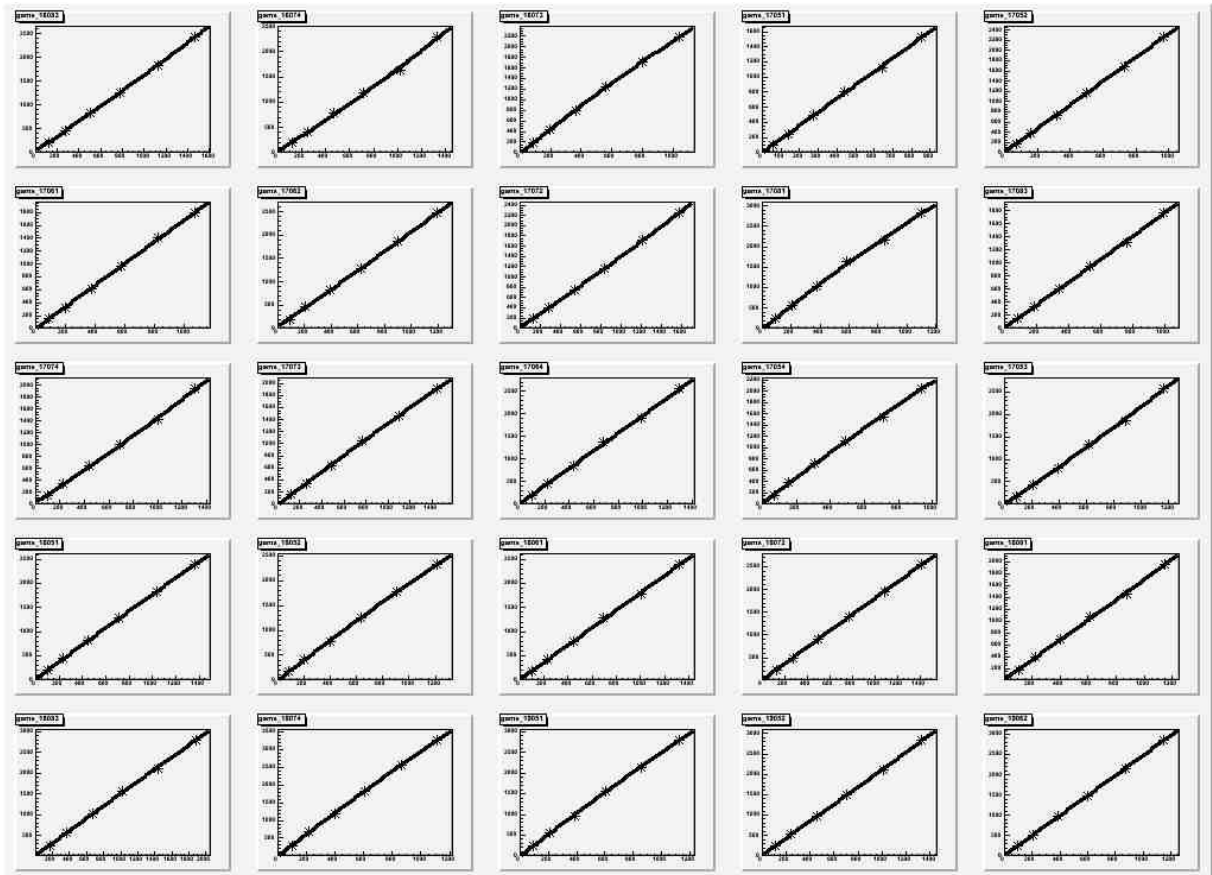
$$\left(\frac{A_n}{\sigma_n}\right)^2 = f(A)$$

для разных напряжений засветки и опишем его линейной функцией  $f(A) = c_1 \cdot A + c_0$   
Полученные данные фитирования занесем в таблицу:

см Таблица 1. Приложение 1

Нули в таблице - из-за ошибочно выключенного высокого напряжения.

характерный вид прямой  $\left(\frac{A_n}{\sigma_n}\right)^2 = f(A)$  рис.22

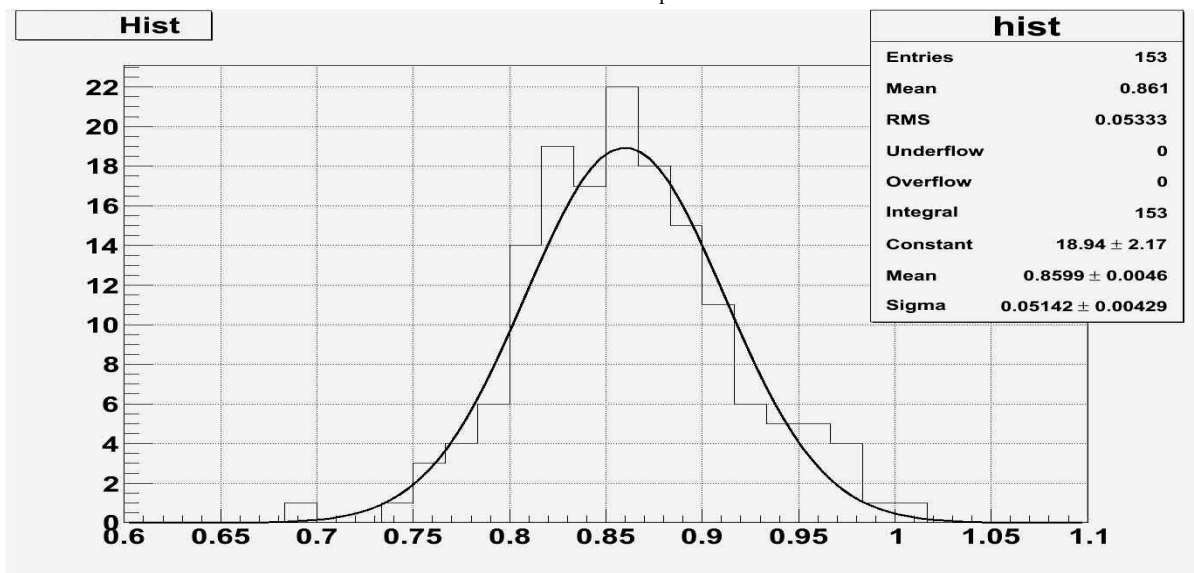


Из рис.22 видно что все зависимости линейны поэтому наше предположение верно и в средне квадратичное отклонение в основном вносит вклад светостатистика. Из таблицы 1 приложения 1 видно что коэффициент с0 от -50 до +50. Поскольку характерное  $A \sim 1500-2500$  то коэффициенты с0 от -50 до +50 несут существенны. Из этих соображение заключаем что формула в ее линейном приближении(точнее прямой пропорциональности) пригодна и позволяет использовать прямые данные из файлов сданными без дополнительной обработки.

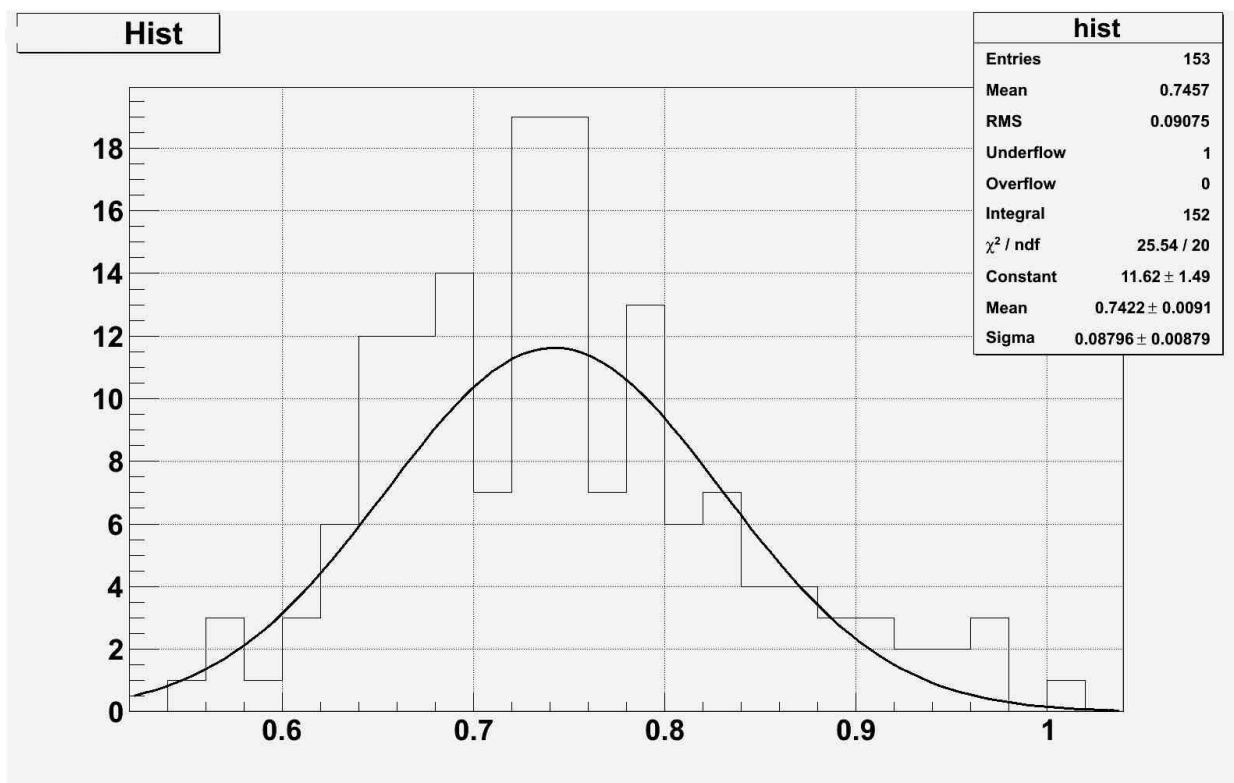
Начнем обработку данных, для этого найдем усредненный коэффициент

$\frac{\sigma_1}{A_1}$  и его квадрат см. рис.23 и рис.24

гистограмма  $\frac{\sigma_1}{A_1}$  рис.23



гистограмма  $\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2$  рис.24



Получаем из рис.24 общий усредненный коэффициент.

$$\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2 = 0.742 \pm 0.086$$

тогда

$$n \approx 1.742 \left(\frac{A_n}{\sigma_n}\right)^2$$

Произведем расчет количества фото-электронов на 1 ГэВ (Ф.Э./ГэВ) для больших и малых счетчиков ЭМК. Для расчета воспользуемся данными собранными за 39 весенний сеанс 2010 года.

После вычитания пьедесталов формула выглядит следующим образом:

$$N = \left(\frac{A_n}{\sigma_n}\right)^2 \left(\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2 + 1\right) * \left(\frac{A_x}{A_n}\right)$$

$A_1$  и  $\sigma_1$  — одноэлектронные среднее и сигма

$A_n$  и  $\sigma_n$  — многоэлектронные среднее и сигма

$N$  — число фотоэлектронов

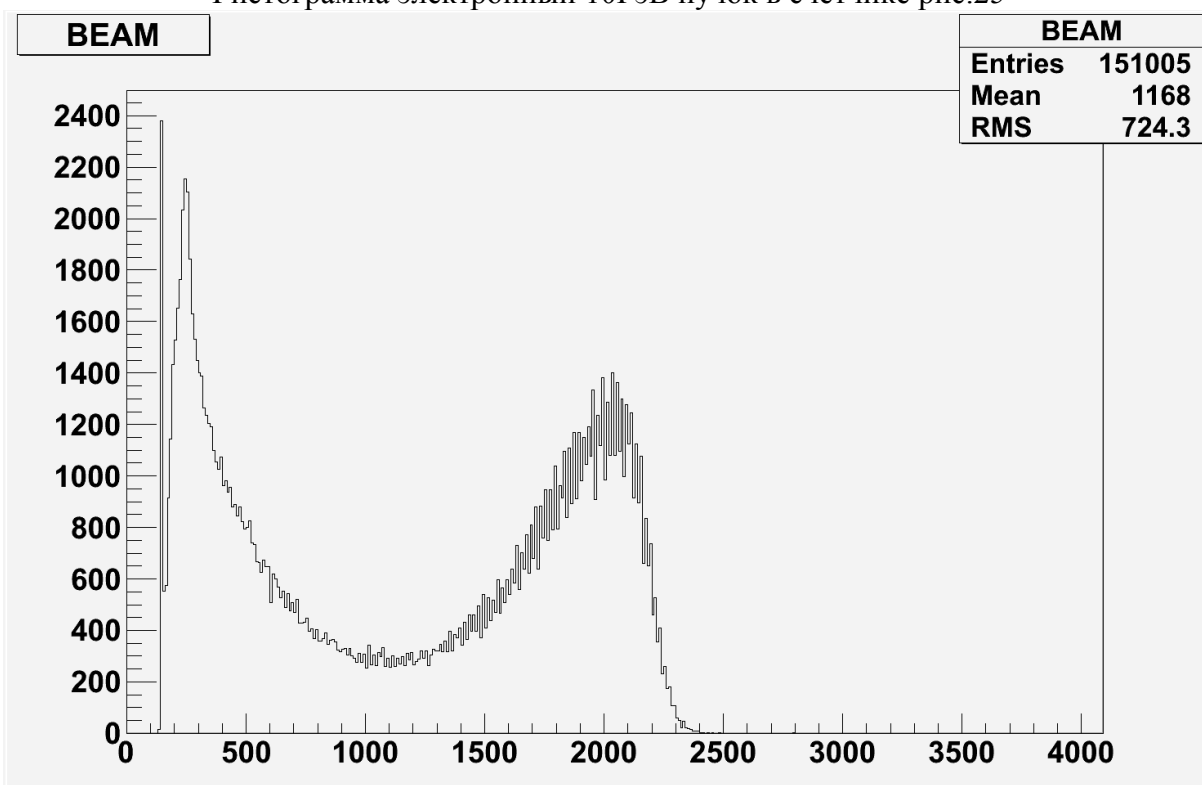
$A_x$  — значение пикирования пучка(край спектра).

Рис.25 показывает характерную картинку 10ГэВ пучка в счетчике. Потому что график пикирует в 10 ГЭВ, считаем что край — соответствует отсчету в 10 ГэВ. Край спектра определяем как точку справа от которой лежат 5% событий.

Выполним расчеты. Полученные значения Ф.Э./ГэВ занесем в таблицу и построим гистограммы для каждого набора.

Напомним что  $\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2$  для индивидуального коэффициента означает измеренные для данного ФЭУ параметры, а для общего коэффициента среднее значение квадрата.

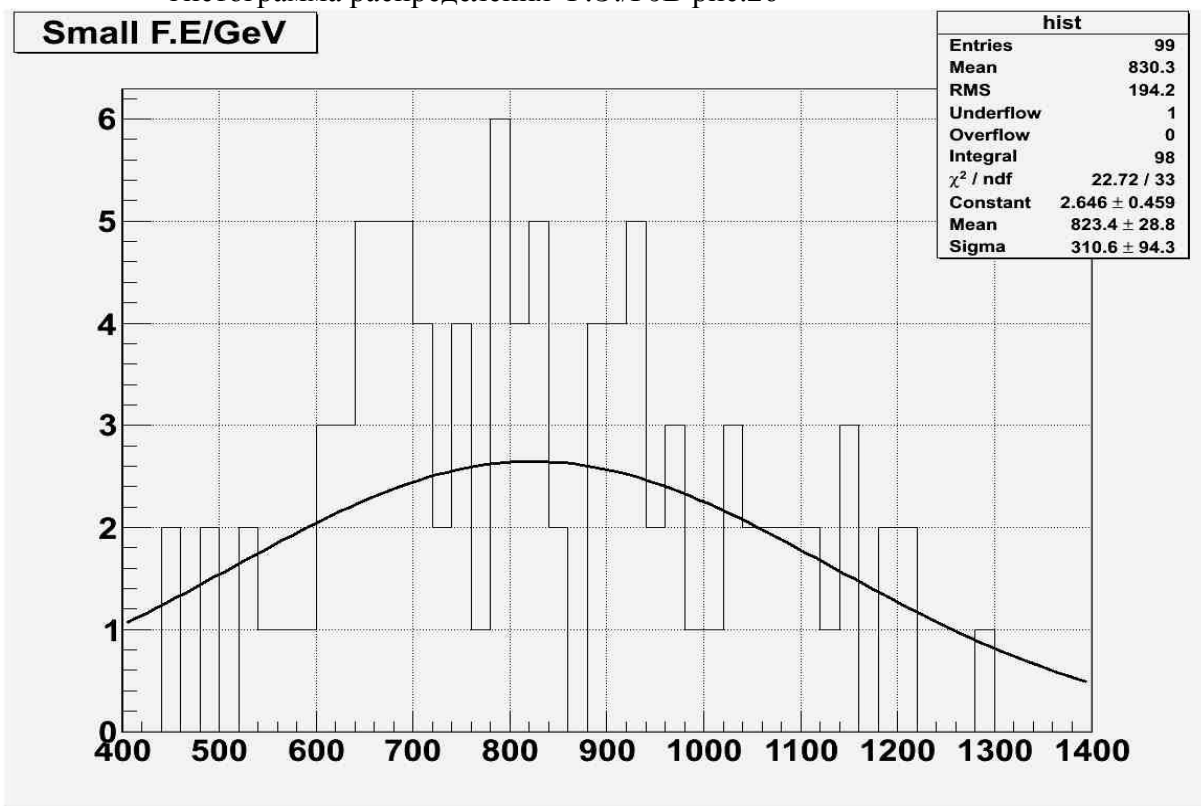
Гистограмма электронный 10ГэВ пучок в счетчике рис.25



## Индивидуальный коэффициент.

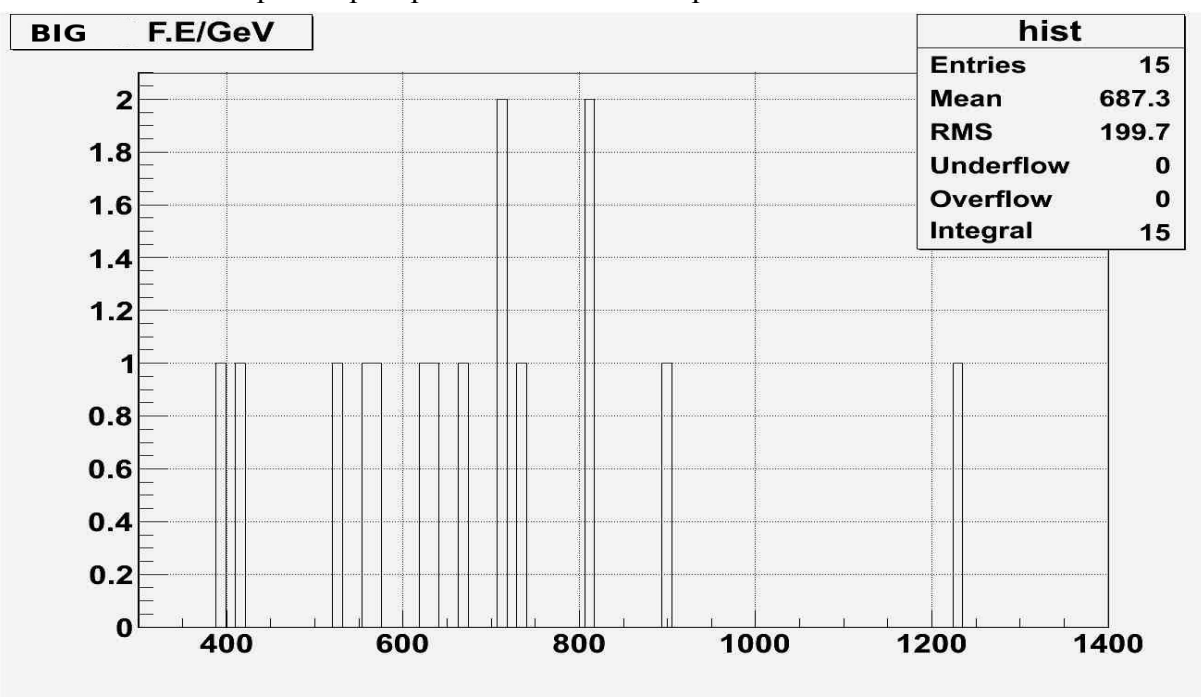
Для малых счетчиков (индивидуальный):

канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 2 Приложение 1  
гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.26



Для Больших счетчиков (индивидуальный):

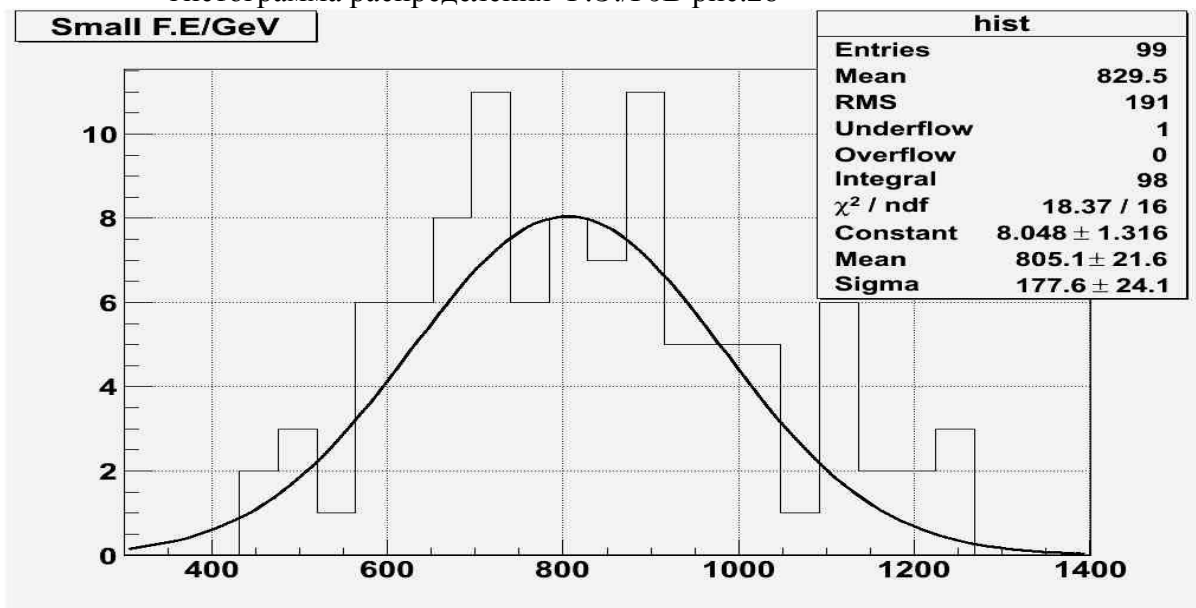
канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 3 Приложение 1  
гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.27



## Общий коэффициент.

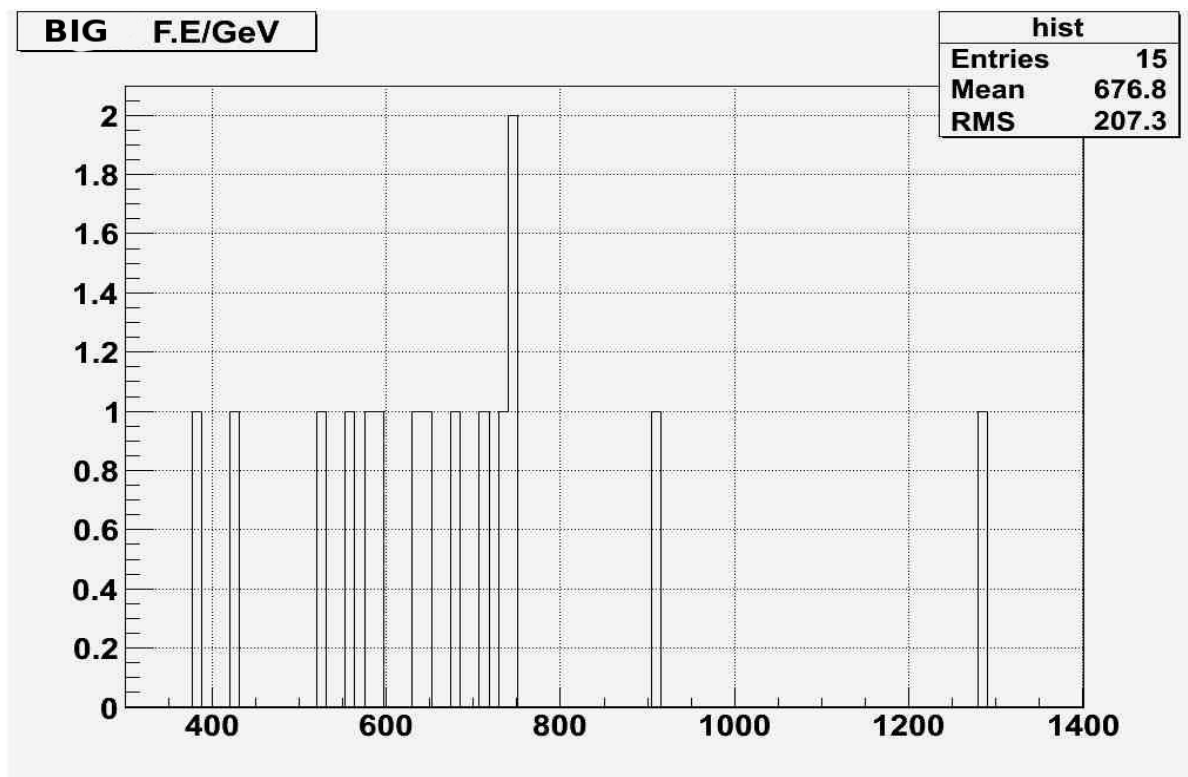
Для малых счетчиков (общий):

канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 4 Приложение 1  
гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.28



Для Больших счетчиков (общий):

канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 5 Приложение 1  
гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.29



Для учета утечек, значение Ф.Э./ГэВ для маленьких надо умножить на 1.25 (утечка 20%), а для больших умножить на 1.11(утечка 10%)

Поскольку не видно принципиальной разницы в среднем и сигма гистограмм для индивидуального и общего коэффициента, то при невозможности измерений ФЭУ - надо действовать так:

$$\left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2 - \text{берем средний.}$$

А квантовую эффективность из паспорта.

И таким образом получаем примерные параметры счетчиков.

(см рис.26 и рис.28 для маленьких счетчиков, и рис.27 и рис.29 для больших счетчиков)

Оценим разрешение по фотостатистике при энергии 10ГэВ

для маленьких:

$$\sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2}{\langle N_s \rangle * 10}} = 1,47\%$$

для больших:

$$\sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2}{\langle N_b \rangle * 10}} = 1,59\%$$

Теперь учтем утечки:

малого счетчика — 8 ГэВ — 20% утечки

большого счетчика — 9 ГэВ — 10% утечки

Тогда получим поправленное разрешение по фотостатистике для энергии 10ГэВ

для маленьких:

$$\sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2}{1.25 * \langle N_s \rangle * 10}} = 1,32\%$$

для больших:

$$\sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\sigma_1}{A_1}\right)^2}{1.11 * \langle N_b \rangle * 10}} = 1,51\%$$

По предварительным данным (полученным по обработке 39 сеанса Поляковым Б.Ф.) энергетическое разрешение ЭМК — 2.70% для малых счетчиков, тогда без фотостатистики — 2.36%



## 6. Параметры «шашлыков»

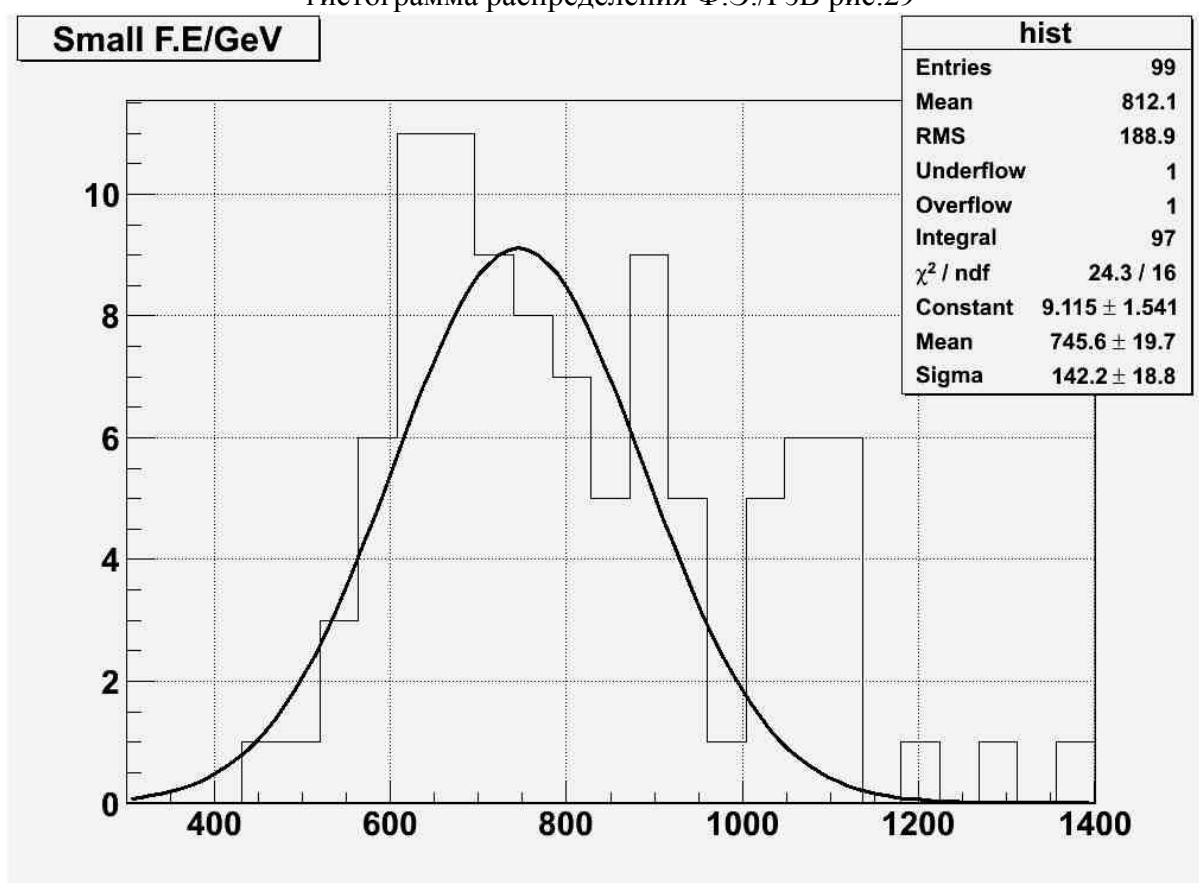
Прокалибровав детекторы — сборку «шашлык»-ФЭУ, можно извлечь относительные параметры самого «шашлыка». Поделим количество Ф.Э./ГэВ на относительную квантовую чувствительность нормированную на 1 (поделенную на среднюю относительную квантовую чувствительность) мы получим некий условный коэффициент, который можно интерпретировать как Ф.Э./ГэВ на среднем ФЭУ.

Для более точного измерения будем работать с индивидуальными коэффициентами. Проведем вычисления, занесем данные в таблицы и построим гистограммы.

Для маленьких счетчиков:

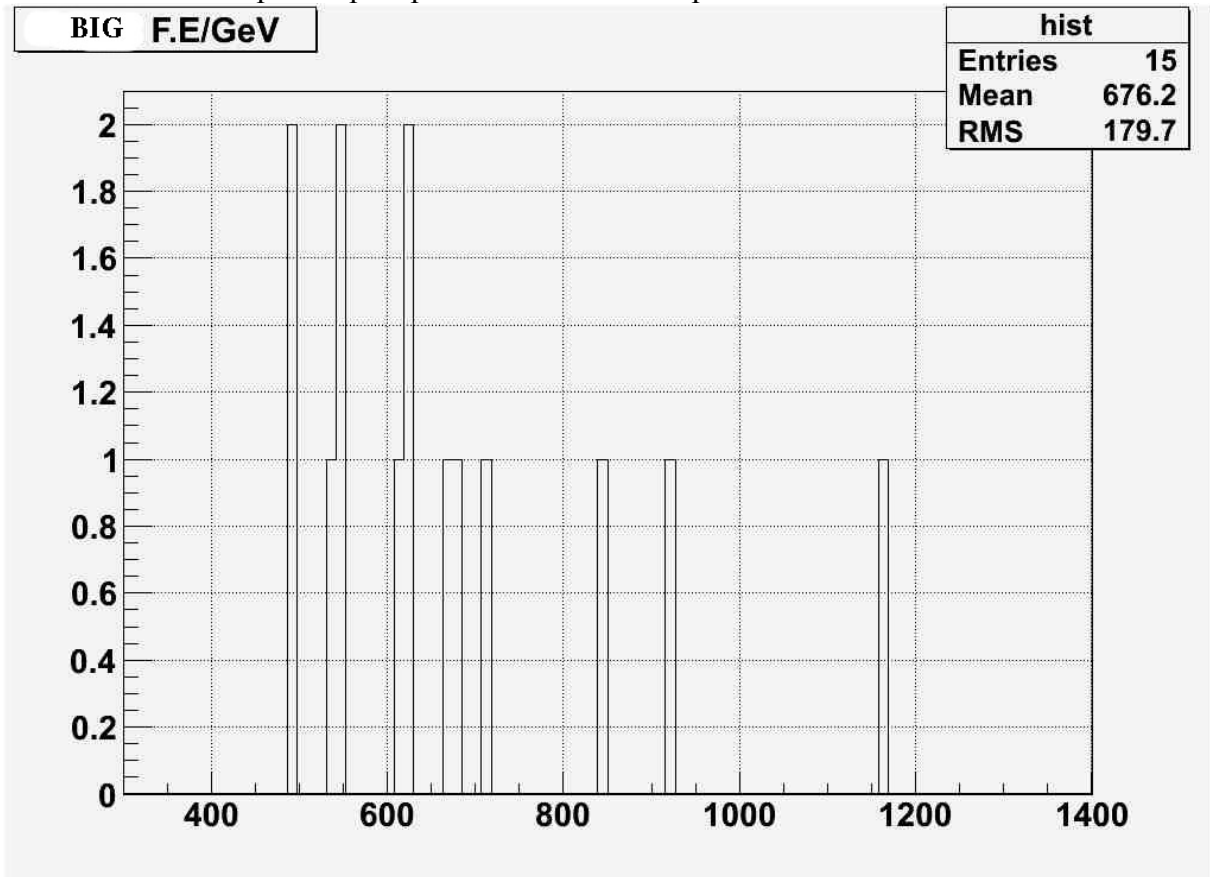
канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 6 Приложение 1

гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.29



Для больших счетчиков :

канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 7 Приложение 1  
гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.30



Из гистограммы получаем отличия по параметрам самих шашлыков более чем в 3 раза для маленьких счетчиков (см. рис29) , в 2 раза для больших счетчиков (рис.30.)

Найдем для счетчиков отношение сигмы к среднему, для определения качества изготовления — разброса по параметрам:

|               |     |
|---------------|-----|
| для маленьких | 19% |
| для больших   | 26% |

Для учета утечек, значение Ф.Э./ГэВ для маленьких надло умножить на 1.25 (утечка 20%), а для больших умножить на 1.11(утечка 10%)

## 7. Витые Шашлыки

Отдельно стоит рассмотреть так называемые витые «шашлыки».

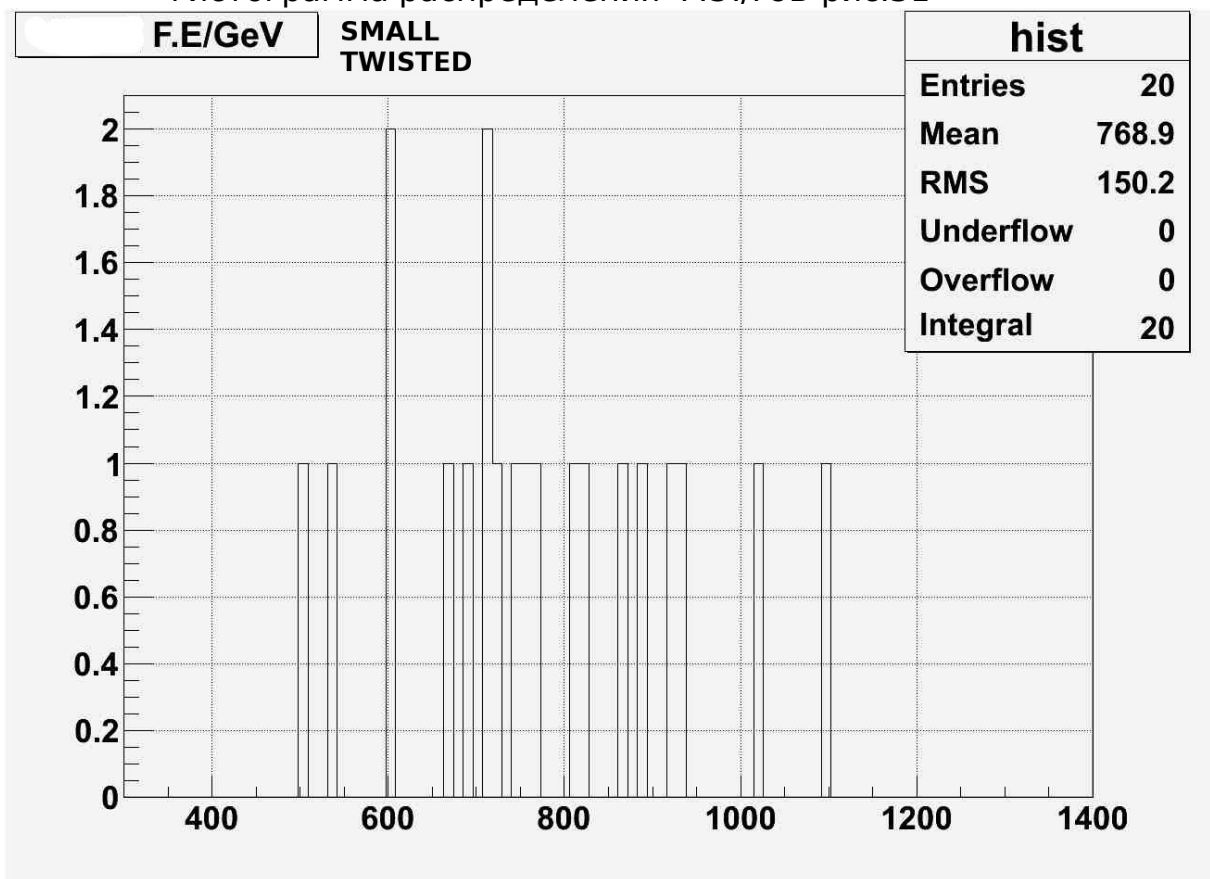
Витые «шашлыки» — расположены в центре ЭМК вокруг пучка, для более однородного отклика от гамма-квантов под малыми углами (вдоль волокна).

Гипотезу о более однородном отклике проверить затруднительно на электронных данных. Проверим просто параметры фотостатистики.

В 39 сеансе эти шашлыки имели номер 16\*\*\*. Построим для них гистограмму эффективности «шашлыков». Занесем данные в таблицу и построим гистограмму.

канал — количество Ф.Э./ГэВ см. Таблица 8 Приложение 1

гистограмма распределения Ф.Э./ГэВ рис.31



Получаем для витых «шашлыков» примерно столько же Ф.Э./ГэВ 768 (было 745). Отношение сигмы к среднему (маленькие счетчики) 19.5%. Получили, что для электронного пучка по фотостатистике витые «шашлыки» не отличимы от обычных.

## 8. Заключение

В данный момент (после сеанса весна 2010) — даже ФЭУ с низкой квантовой эффективностью видятся условно годными — в связи с тем что количество света в «шашлыках» вполне достаточно для получения приемлемого энергетического разрешения ЭМК, но фотостатистика уже начинает влиять на разрешение.

Найдена условная корреляция с паспортными данными, возможен некий отбор — но желательны измерения, И если верить паспорту — можно говорить о некоторых параметрах ФЭУ в частности примерное представление о квантовой эффективности после нового тестового сеанса, и снятия характеристик шашлык-ФЭУ - можно сделать сборку шашлык — ФЭУ более однородной(нужны дополнительные исследования).

Измеренные шашлыки — нормального качества, маленькие отличаются по световыходу не более чем в 3, а большие не более чем в 2 раза. Как было сказано выше для регуляризации детектора шашлыки с малым световыходом должны иметь хорошие ФЭУ(с большим квантовым выходом).

Про витые шашлыки можно сказать что они не отличаются от обычных, в произведенных измерениях.

Для ФЭУ необходима хотя бы базовая проверка на шумы и пробой при напряжении 1800В. Проверка нужна для того чтобы выявить плохие ФЭУ, возможно они нормально будут работать в режиме 1300В но в районе 1800В т.е. в режиме проверки (по паспорту максимум 1900В) бывают: аномальный шум — который не виден при нормальной работе, также бывают пробой из-за плохого вакуума — что в перспективе грозит деградацией и разрушением ФЭУ

При выполнении данной работы отлажена методика проверки ФЭУ и подготовлен комплекс программ — с помощью которого можно судить о характеристиках ФЭУ, и сданными об электронном пучке о «шашлыках». Следующим этапом станет модификация и подключение стенда к системе сбора данных, с целью исключения осциллографа как сборщика данных, и ускорения сбора в 10 раз, что позволит набирать больше статистики за меньшее время.

Для системы мониторинга выбраны приемлемые светодиоды — основной вклад в разброс дает фотостатистика. Текущую сборку системы мониторинга можно использовать для настройки ЭМК. Но для поправок на нее в режиме сбора данных нужны более тщательные исследования, в частности зависимость от плавания по температуре.

Возможно меньшее количество света в больших «шашлыках» обусловлено конструкцией:

- Маленький счетчик имеет выводы волокон световодов в центре круга вывода «шашлыка», и перехват фотонов ФЭУ больше.
- Большой счетчик имеет выводы волокон по всему кругу вывода «шашлыка», и перехват фотонов ФЭУ меньше.

Автор выражает признательность Хохлову Ю.А. за идею работы и плодотворные обсуждения. Также автор благодарен А.В. Ивашину за советы и ценные рекомендации.

## 9. Приложение 1

Таблица 1.

Коэффициенты функции  $N(A)=c_1*x + c_0$

|       |      |        |       |      |        |
|-------|------|--------|-------|------|--------|
| 16083 | 1.64 | 8.83   | 18064 | 0.00 | 0.00   |
| 16074 | 1.70 | -19.58 | 18063 | 0.00 | 0.00   |
| 16073 | 2.10 | 28.55  | 18054 | 0.00 | 0.00   |
| 16064 | 0.00 | 0.00   | 18053 | 0.00 | 0.00   |
| 16063 | 0.00 | 0.00   | 19051 | 2.47 | 27.29  |
| 16054 | 0.00 | 0.00   | 19052 | 2.10 | 15.22  |
| 16053 | 0.00 | 0.00   | 19061 | 0.00 | 0.00   |
| 17051 | 1.78 | 2.73   | 19062 | 2.47 | 10.54  |
| 17052 | 2.33 | 5.66   | 19071 | 2.68 | 18.17  |
| 17061 | 1.69 | -2.72  | 19072 | 2.32 | 58.19  |
| 17062 | 2.04 | 24.71  | 19081 | 2.20 | 37.40  |
| 17071 | 0.00 | 0.00   | 19083 | 1.81 | 28.54  |
| 17072 | 1.42 | -4.36  | 19074 | 2.13 | 41.89  |
| 17081 | 2.55 | 45.15  | 19073 | 3.00 | 41.27  |
| 17083 | 1.75 | 6.38   | 19064 | 2.45 | 117.21 |
| 17074 | 1.46 | 0.07   | 19063 | 2.93 | 36.88  |
| 17073 | 1.33 | 6.11   | 19054 | 2.56 | 17.41  |
| 17064 | 1.94 | 20.57  | 19053 | 2.50 | 28.63  |
| 17063 | 0.00 | 0.00   | 16051 | 1.29 | 0.48   |
| 17054 | 2.16 | 35.96  | 16052 | 2.30 | 7.15   |
| 17053 | 2.22 | -38.20 | 16061 | 1.67 | 2.71   |
| 18051 | 1.74 | 30.08  | 16062 | 2.11 | -5.18  |
| 18052 | 1.92 | 20.13  | 16071 | 0.00 | 0.00   |
| 18061 | 1.80 | 7.81   | 16072 | 2.01 | 6.31   |
| 18062 | 0.00 | 0.00   | 16081 | 1.77 | 11.11  |
| 18071 | 0.00 | 0.00   | 16082 | 0.95 | 98.21  |
| 18072 | 1.79 | 15.24  | 16091 | 1.69 | -22.92 |
| 18081 | 1.69 | 5.21   | 16092 | 1.53 | 8.22   |
| 18083 | 1.47 | 31.32  | 16094 | 1.81 | -22.50 |
| 18074 | 2.93 | 30.74  | 16093 | 1.85 | -14.45 |
| 18073 | 0.00 | 0.00   | 16084 | 1.31 | 33.71  |

|       |      |        |       |      |        |
|-------|------|--------|-------|------|--------|
| 17082 | 1.76 | -9.55  | 20051 | 0.00 | 0.00   |
| 17091 | 2.40 | -12.46 | 20053 | 2.17 | 12.02  |
| 17092 | 2.09 | 10.27  | 20054 | 2.40 | 17.35  |
| 17094 | 2.05 | 13.39  | 20063 | 2.02 | 12.46  |
| 17093 | 2.36 | 8.36   | 20064 | 2.72 | 26.31  |
| 17084 | 1.42 | 4.77   | 20073 | 2.32 | 27.21  |
| 18082 | 1.78 | 23.76  | 20074 | 3.18 | 75.56  |
| 18091 | 2.56 | 43.01  | 20083 | 2.21 | 0.11   |
| 18092 | 2.08 | 27.16  | 20084 | 0.00 | 0.00   |
| 18094 | 2.99 | 17.92  | 20093 | 2.58 | 9.52   |
| 18093 | 2.62 | 19.38  | 20094 | 3.03 | 25.07  |
| 18084 | 2.88 | 11.50  | 16040 | 1.32 | 6.16   |
| 19082 | 2.26 | 7.89   | 16030 | 1.50 | 8.25   |
| 19091 | 2.64 | 39.37  | 16020 | 2.65 | -13.87 |
| 19092 | 2.76 | -3.14  | 17040 | 1.58 | 14.42  |
| 19094 | 2.08 | 4.94   | 17030 | 2.37 | -6.41  |
| 19093 | 3.05 | 12.51  | 17020 | 1.48 | 63.49  |
| 19084 | 1.55 | 5.00   | 18040 | 1.51 | -4.98  |
| 20092 | 2.03 | 23.01  | 18030 | 1.54 | -21.65 |
| 20091 | 3.49 | 37.74  | 18020 | 1.72 | -23.70 |
| 20082 | 0.00 | 0.00   | 19040 | 2.19 | 2.34   |
| 20081 | 2.84 | 40.24  | 19030 | 1.72 | -42.68 |
| 20072 | 0.00 | 0.00   | 19020 | 1.98 | -6.78  |
| 20071 | 2.48 | 17.42  | 20040 | 2.35 | 72.10  |
| 20062 | 2.64 | -5.33  | 20030 | 2.83 | 76.83  |
| 20061 | 0.00 | 0.00   | 20020 | 2.34 | 78.39  |
| 20052 | 0.00 | 0.00   |       |      |        |

**Таблица 2**

Количество Ф.Э./ГэВ для малых счетчиков (индивидуальный коэффициент)

|       |        |       |        |       |        |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 16083 | 676.81 | 16063 | 541.45 | 17052 | 848.77 |
| 16074 | 691.80 | 16054 | 712.03 | 17061 | 456.63 |
| 16073 | 816.21 | 16053 | 795.92 | 17062 | 785.66 |
| 16064 | 744.03 | 17051 | 825.88 | 17071 | 718.80 |

|       |         |       |         |       |         |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 17072 | 601.91  | 19081 | 839.52  | 18094 | 1188.10 |
| 17081 | 1051.27 | 19083 | 782.76  | 18093 | 1202.89 |
| 17083 | 701.80  | 19074 | 838.67  | 18084 | 1065.16 |
| 17074 | 592.01  | 19073 | 1082.43 | 19082 | 898.98  |
| 17073 | 499.67  | 19064 | 965.72  | 19091 | 1023.73 |
| 17064 | 642.58  | 19054 | 965.55  | 19092 | 1185.07 |
| 17063 | 608.91  | 19053 | 970.69  | 19094 | 667.65  |
| 17054 | 935.28  | 16051 | 654.87  | 19093 | 1146.69 |
| 17053 | 834.75  | 16052 | 937.59  | 19084 | 630.01  |
| 18051 | 757.57  | 16061 | 637.48  | 20092 | 804.81  |
| 18052 | 704.13  | 16062 | 1000.94 | 20091 | 1293.67 |
| 18061 | 692.25  | 16071 | 785.14  | 20082 | 665.84  |
| 18062 | 722.38  | 16072 | 909.50  | 20081 | 1146.01 |
| 18071 | 760.60  | 16081 | 695.53  | 20072 | 948.97  |
| 18072 | 686.68  | 16082 | 442.33  | 20071 | 921.48  |
| 18081 | 615.29  | 16091 | 751.70  | 20062 | 1099.53 |
| 18083 | 748.40  | 16092 | 648.20  | 20061 | 916.56  |
| 18074 | 895.43  | 16094 | 832.95  | 20052 | 1217.84 |
| 18073 | 537.76  | 16093 | 629.10  | 20051 | 996.18  |
| 18064 | 670.11  | 16084 | 534.94  | 20053 | 884.63  |
| 18063 | 481.48  | 17082 | 733.67  | 20054 | 1033.85 |
| 18054 | 645.92  | 17091 | 1037.24 | 20063 | 924.13  |
| 18053 | 1141.86 | 17092 | 815.80  | 20073 | 851.09  |
| 19051 | 906.31  | 17094 | 790.64  | 20074 | 1107.12 |
| 19052 | 665.95  | 17093 | 1133.30 | 20083 | 948.93  |
| 19061 | 1074.31 | 17084 | 566.36  | 20084 | 1.59    |
| 19062 | 800.16  | 18082 | 680.97  | 20093 | 799.85  |
| 19071 | 932.34  | 18091 | 1114.29 | 20094 | 1056.93 |
| 19072 | 905.62  | 18092 | 893.36  | 20084 | 650.53  |

**Таблица 3**

Количество Ф.Э./ГэВ для больших счетчиков (индивидуальный коэффициент)

|       |        |       |        |       |        |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 16020 | 811.63 | 16020 | 826.00 | 16030 | 565.34 |
| 16020 | 822.50 | 16020 | 829.22 | 16030 | 569.00 |



|       |         |       |        |       |        |
|-------|---------|-------|--------|-------|--------|
| 16030 | 569.26  | 18020 | 736.53 | 19030 | 656.58 |
| 16030 | 577.11  | 18020 | 743.16 | 19030 | 660.26 |
| 16040 | 418.55  | 18020 | 777.94 | 19040 | 666.91 |
| 16040 | 425.93  | 18020 | 794.93 | 19040 | 725.93 |
| 16040 | 444.31  | 18030 | 395.04 | 19040 | 741.06 |
| 16040 | 457.78  | 18030 | 399.74 | 19040 | 747.91 |
| 17020 | 1229.36 | 18030 | 436.76 | 20020 | 714.01 |
| 17020 | 1357.21 | 18030 | 441.75 | 20020 | 717.77 |
| 17020 | 1391.78 | 18040 | 558.98 | 20020 | 737.69 |
| 17020 | 1404.23 | 18040 | 563.69 | 20020 | 747.35 |
| 17030 | 903.80  | 18040 | 599.55 | 20030 | 633.46 |
| 17030 | 904.34  | 18040 | 603.57 | 20030 | 703.93 |
| 17030 | 909.78  | 19020 | 708.10 | 20030 | 767.50 |
| 17030 | 911.68  | 19020 | 744.23 | 20030 | 807.02 |
| 17040 | 524.09  | 19020 | 763.93 | 20040 | 814.76 |
| 17040 | 535.62  | 19020 | 773.45 | 20040 | 832.04 |
| 17040 | 538.92  | 19030 | 628.38 | 20040 | 832.58 |
| 17040 | 540.09  | 19030 | 632.42 | 20040 | 859.75 |

**Таблица 4**

Количество Ф.Э./ГэВ для малых счетчиков (общий коэффициент)

|       |        |       |         |       |         |
|-------|--------|-------|---------|-------|---------|
| 16083 | 673.19 | 17081 | 1004.49 | 18072 | 666.00  |
| 16074 | 688.87 | 17083 | 737.90  | 18081 | 639.01  |
| 16073 | 827.84 | 17074 | 606.39  | 18083 | 768.00  |
| 16064 | 710.78 | 17073 | 494.26  | 18074 | 898.78  |
| 16063 | 513.25 | 17064 | 673.49  | 18073 | 595.31  |
| 16054 | 797.99 | 17063 | 624.61  | 18064 | 698.30  |
| 16053 | 742.14 | 17054 | 960.60  | 18063 | 510.39  |
| 17051 | 875.98 | 17053 | 831.48  | 18054 | 630.30  |
| 17052 | 877.41 | 18051 | 730.88  | 18053 | 1135.57 |
| 17061 | 470.21 | 18052 | 733.08  | 19051 | 853.67  |
| 17062 | 805.00 | 18061 | 677.68  | 19052 | 651.16  |
| 17071 | 743.38 | 18062 | 722.97  | 19061 | 996.80  |
| 17072 | 571.72 | 18071 | 758.69  | 19062 | 866.63  |

|       |         |       |         |       |         |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 19071 | 893.82  | 16093 | 698.16  | 20092 | 794.77  |
| 19072 | 893.34  | 16084 | 532.51  | 20091 | 1243.81 |
| 19081 | 784.86  | 17082 | 773.75  | 20082 | 683.45  |
| 19083 | 737.74  | 17091 | 1089.00 | 20081 | 1047.48 |
| 19074 | 811.88  | 17092 | 866.85  | 20072 | 1007.58 |
| 19073 | 1146.15 | 17094 | 842.93  | 20071 | 941.87  |
| 19064 | 976.92  | 17093 | 1133.42 | 20062 | 995.65  |
| 19054 | 969.12  | 17084 | 582.45  | 20061 | 894.38  |
| 19053 | 947.76  | 18082 | 721.47  | 20052 | 1184.32 |
| 16051 | 580.84  | 18091 | 1119.78 | 20051 | 898.55  |
| 16052 | 912.98  | 18092 | 891.47  | 20053 | 912.31  |
| 16061 | 660.39  | 18094 | 1231.46 | 20054 | 1023.63 |
| 16062 | 929.52  | 18093 | 1109.75 | 20063 | 958.98  |
| 16071 | 812.34  | 18084 | 1140.87 | 20073 | 852.07  |
| 16072 | 904.48  | 19082 | 820.51  | 20074 | 1118.17 |
| 16081 | 703.00  | 19091 | 1105.95 | 20083 | 934.30  |
| 16082 | 459.18  | 19092 | 1232.62 | 20084 | 1.40    |
| 16091 | 704.64  | 19094 | 669.08  | 20093 | 843.09  |
| 16092 | 629.12  | 19093 | 1195.21 | 20094 | 1026.85 |
| 16094 | 740.16  | 19084 | 638.06  | 20084 | 574.12  |

**Таблица 5**

Количество Ф.Э./ГэВ для больших счетчиков (общий коэффициент)

|       |        |       |         |       |        |
|-------|--------|-------|---------|-------|--------|
| 16020 | 741.06 | 17020 | 1284.79 | 18020 | 681.75 |
| 16020 | 750.99 | 17020 | 1418.41 | 18020 | 687.89 |
| 16020 | 754.19 | 17020 | 1454.54 | 18020 | 720.09 |
| 16020 | 757.13 | 17020 | 1467.55 | 18020 | 735.81 |
| 16030 | 580.12 | 17030 | 906.98  | 18030 | 386.72 |
| 16030 | 583.88 | 17030 | 907.53  | 18030 | 391.32 |
| 16030 | 584.14 | 17030 | 912.98  | 18030 | 427.56 |
| 16030 | 592.20 | 17030 | 914.89  | 18030 | 432.44 |
| 16040 | 422.35 | 17040 | 520.75  | 18040 | 555.06 |
| 16040 | 429.79 | 17040 | 532.20  | 18040 | 559.73 |
| 16040 | 448.34 | 17040 | 535.48  | 18040 | 595.35 |
| 16040 | 461.93 | 17040 | 536.65  | 18040 | 599.34 |

|       |        |       |        |       |        |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 19020 | 739.99 | 19040 | 710.85 | 20030 | 641.23 |
| 19020 | 777.75 | 19040 | 773.75 | 20030 | 712.57 |
| 19020 | 798.34 | 19040 | 789.88 | 20030 | 776.92 |
| 19020 | 808.28 | 19040 | 797.18 | 20030 | 816.93 |
| 19030 | 592.83 | 20020 | 637.53 | 20040 | 749.29 |
| 19030 | 596.64 | 20020 | 640.88 | 20040 | 765.19 |
| 19030 | 619.44 | 20020 | 658.68 | 20040 | 765.68 |
| 19030 | 622.91 | 20020 | 667.30 | 20040 | 790.67 |

### Таблица 6

Параметры малых шашлыков в Ф.Э./ГЭВ

|       |         |       |         |       |         |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 16051 | 934.49  | 17054 | 606.47  | 18063 | 676.50  |
| 16052 | 720.79  | 17061 | 552.44  | 18064 | 751.09  |
| 16053 | 826.93  | 17062 | 787.50  | 18071 | 679.87  |
| 16054 | 750.12  | 17063 | 529.49  | 18072 | 675.08  |
| 16061 | 1018.69 | 17064 | 587.50  | 18073 | 633.24  |
| 16062 | 707.45  | 17071 | 654.85  | 18074 | 863.06  |
| 16063 | 1094.88 | 17072 | 745.83  | 18081 | 628.55  |
| 16064 | 597.46  | 17073 | 670.41  | 18082 | 604.05  |
| 16071 | 810.47  | 17074 | 617.59  | 18083 | 656.59  |
| 16072 | 763.39  | 17081 | 881.22  | 18084 | 614.98  |
| 16073 | 754.33  | 17082 | 716.86  | 18091 | 774.32  |
| 16074 | 672.88  | 17083 | 619.52  | 18092 | 733.48  |
| 16081 | 695.53  | 17084 | 641.54  | 18093 | 1116.53 |
| 16082 | 505.98  | 17091 | 1097.25 | 18094 | 905.22  |
| 16083 | 883.09  | 17092 | 731.25  | 19051 | 840.64  |
| 16084 | 533.69  | 17093 | 1003.89 | 19052 | 642.85  |
| 16091 | 714.31  | 17094 | 760.91  | 19053 | 736.07  |
| 16092 | 917.80  | 18051 | 649.92  | 19054 | 701.03  |
| 16093 | 606.37  | 18052 | 622.44  | 19061 | 908.86  |
| 16094 | 869.64  | 18053 | 1043.98 | 19062 | 885.23  |
| 17051 | 690.93  | 18054 | 843.65  | 19064 | 756.96  |
| 17052 | 632.01  | 18061 | 608.16  | 19071 | 813.49  |
| 17053 | 668.64  | 18062 | 810.38  | 19072 | 815.76  |

|       |         |       |         |       |         |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 19073 | 950.29  | 20051 | 1093.57 | 20074 | 852.14  |
| 19074 | 590.48  | 20052 | 1087.05 | 20081 | 795.06  |
| 19081 | 906.82  | 20053 | 1069.25 | 20082 | 652.08  |
| 19082 | 1019.21 | 20054 | 1105.53 | 20083 | 1361.70 |
| 19083 | 446.89  | 20061 | 913.71  | 20084 | 1060.74 |
| 19084 | 1073.79 | 20062 | 934.53  | 20084 | 2.59    |
| 19091 | 1050.83 | 20063 | 1304.18 | 20091 | 914.86  |
| 19092 | 1495.95 | 20071 | 906.61  | 20092 | 1046.90 |
| 19093 | 1065.91 | 20072 | 1208.64 | 20093 | 933.28  |
| 19094 | 1005.40 | 20073 | 720.50  | 20094 | 1133.05 |

### Таблица 7

Параметры больших шашлыков в Ф.Э./ГЭВ

|       |         |       |        |       |        |
|-------|---------|-------|--------|-------|--------|
| 16020 | 671.11  | 17040 | 612.08 | 19030 | 531.26 |
| 16020 | 680.11  | 17040 | 625.54 | 19030 | 534.67 |
| 16020 | 683.00  | 17040 | 629.39 | 19030 | 555.10 |
| 16020 | 685.66  | 17040 | 630.77 | 19030 | 558.22 |
| 16030 | 494.29  | 18020 | 709.90 | 19040 | 549.32 |
| 16030 | 497.49  | 18020 | 716.30 | 19040 | 597.93 |
| 16030 | 497.71  | 18020 | 749.83 | 19040 | 610.40 |
| 16030 | 504.58  | 18020 | 766.19 | 19040 | 616.04 |
| 16040 | 495.14  | 18030 | 245.94 | 20020 | 623.42 |
| 16040 | 503.87  | 18030 | 248.87 | 20020 | 626.70 |
| 16040 | 525.61  | 18030 | 271.91 | 20020 | 644.10 |
| 16040 | 541.55  | 18030 | 275.02 | 20020 | 652.53 |
| 17020 | 1163.03 | 18040 | 628.18 | 20030 | 546.38 |
| 17020 | 1283.98 | 18040 | 633.47 | 20030 | 607.16 |
| 17020 | 1316.68 | 18040 | 673.77 | 20030 | 661.99 |
| 17020 | 1328.46 | 18040 | 678.29 | 20030 | 696.08 |
| 17030 | 916.69  | 19020 | 684.56 | 20040 | 841.05 |
| 17030 | 917.24  | 19020 | 719.50 | 20040 | 858.88 |
| 17030 | 922.75  | 19020 | 738.54 | 20040 | 859.44 |
| 17030 | 924.68  | 19020 | 747.74 | 20040 | 887.49 |

**Таблица 8**

Параметры витых шашлыков в Ф.Э./ГэВ

|       |         |       |         |       |        |
|-------|---------|-------|---------|-------|--------|
| 16083 | 883.09  | 16051 | 934.49  | 16082 | 505.98 |
| 16074 | 672.88  | 16052 | 720.79  | 16091 | 714.31 |
| 16073 | 754.33  | 16061 | 1018.69 | 16092 | 917.80 |
| 16064 | 597.46  | 16062 | 707.45  | 16094 | 869.64 |
| 16063 | 1094.88 | 16071 | 810.47  | 16093 | 606.37 |
| 16054 | 750.12  | 16072 | 763.39  | 16084 | 533.69 |
| 16053 | 826.93  | 16081 | 695.53  |       |        |

## 10.Словарь терминов

1. **ЭМК** — ЭлектороМагнитный Калориметр. В физике элементарных частиц и ядерной физике — прибор, который измеряет энергию частиц. Большинство частиц, попадающих в калориметр, при взаимодействии с его веществом инициируют возникновение вторичных частиц, передавая им часть своей энергии. Вторичные частицы образуют ливень, который поглощается в объёме калориметра и его энергия измеряется тем или иным способом. Энергия может быть измерена полностью (это требует полного поглощения частиц ливня в чувствительном объёме калориметра), или частично, с последующим пересчётом поглощённой энергии в полную энергию первичной частицы. Как правило, калориметры имеют поперечную (относительно траектории частицы) сегментацию для получения информации о направлении движения частицы и выделившейся энергии, и продольную сегментацию для получения информации о форме ливня и, исходя из этого, — о типе частицы. Проектирование калориметров — активная область исследований в физике элементарных частиц.  
Электромагнитные калориметры спроектированы для измерения энергии гамма-квантов и электронов.
2. **«Шашлык»** - устройство для детектирования энергии частиц, обычно ставится в конце установки, представляет из себя сборку с чередованием слоев свинец-сцинтиллятор, пронизанную спектросмещающими световодами. Конкретные толщина свинца, сцинтиллятора и длина шашлыка и его размер выбираются исходя из параметров установки. Свет со световодов детектируется, как правило, ФЭУ. В шашлыке на ВЕС используется волокно световодов bicron MC91(A).
3. **Витой «шашлык»** - шашлык, у которого световод имеет несколько витков, в отличие от обычных прямолинейных. Трудны в производстве используются в малых количествах, для более однородного отклика для гамма-квантов под малыми углами (вдоль волокна).
4. **Умножитель(иногда кокрофт)** - Генератор Кокрофта-Уолтона — умножитель напряжения, преобразующий переменное или пульсирующее постоянное напряжение в высокое постоянное напряжение. Генератор строится из лестницы конденсаторов и диодов. В отличие от трансформатора такой метод не требует тяжёлого сердечника и серьёзной изоляции, так как напряжения на всех ступенях равны. Используя только конденсаторы и диоды генераторы такого типа могут преобразовывать относительно низкое напряжение в очень высокое, при этом оказываясь много легче и дешевле по сравнению с трансформаторами. Ещё одним преимуществом является возможность снять напряжение с любой ступени схемы, так же как в много-отводном трансформаторе.
5. **Одноэлектронный Спектр ФЭУ** — гистограмма интегрированных сигналов с ФЭУ, в предположении что все сигналы отличные от шума — вызваны реакцией ФЭУ на 1 фотозлектрон. Формально одноэлектронным спектром считается спектр с 5-15% набором сигналов, остальное шум, т.е. на 100 импульсов поджига с ФЭУ мы увидим 5-15 импульсов.

- 6. Относительная Квантовая Эффективность(ОКЭ)** — выражается в % или долях от 1, и означает отношение количество сигналов с ФЭУ к количеству поджигающих импульсов светодиода, при одноэлектронной засветке. После нормировки на светопоток соответствующей позиции 12 местного ящика получаем ОКЭ. ОКЭ — характеризует фотокатод ФЭУ и формально показывает вероятность испускания электрона после поглощения фотона.

## 11. Библиография

1. <http://root.cern.ch/root/html522/ClassIndex.html>  
ROOT framework reference guide
2. <http://pcbech.ihep.su/ves/hardware/cheramp.ps>  
Описание усилителя использованного в стенде
3. <http://lib.chipdip.ru/247/DOC000247608.pdf>  
Параметры УФ-светодиодов VL-L314VC
4. Н.А.Соболева, А.Е.Меламид. Фотоэлектронные приборы. М.: Высшая школа, 1974 г.
5. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.:Энергоатомиздат, 1985.
6. Экспериментальная физика. Лабораторный практикум, ч.1. (под ред. В.А.Долгих и Ф.Ф.Каменца). М.:МФТИ, 2007
7. К. Группен Детекторы Элементарных Частиц Cambridge University Press в переводе с английского Н.Ю. Эйдельман и Ю.И. Эйдельман