

17
А 22



М.Б. Амельчаков А.В. Боженко Н.А. Крылова
Е.Э. Пята В.В. Шутенко И.И. Яшин

004-04

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ
ТЕСТИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ФЭУ**

Москва 2004

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*М.Б.Амельчаков А.В. Боженок Н.А.Крылова Е.Э.Пята
В.В.Шутенко И.И.Яшин*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ
ТЕСТИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ФЭУ

Препринт 004-04



Москва 2004

УДК 539.1.074.4

ББК 22.38

С40

Автоматизированный стенд для тестирования характеристик крупногабаритных ФЭУ: Препринт 004-04. М.: МИФИ, 2004. –16 с.

Авторы: Крылова Н.А. (ОАО «Приборный завод “Экран”»); Боженко А.В., Пята Е.Э. (Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН); М.Б.Амельчаков, В.В.Шутенко, Яшин И.И. (МИФИ).

Автоматизированный стенд КАЛИФ-1 предназначен для комплексного тестирования фотоэлектронных умножителей с большой площадью фотокатода (до 200 мм в диаметре) в широком диапазоне регистрируемых световых вспышек, начиная с уровня одноэлектронных сигналов. Стенд разработан сотрудниками МИФИ и ИЯФ СО РАН и внедрен на заводе “Экран” (г. Новосибирск), специализирующемся на изготовлении крупногабаритных ФЭУ (ФЭУ-49Б, ФЭУ-125, ФЭУ-173 и т.д.).

Представлено общее описание конструкции, автоматизированной системы управления стенда, методики проводимых измерений и пользовательского интерфейса. Приводятся результаты сравнительного анализа характеристик опытной партии новых низковольтных фотоумножителей ФЭУ-200 и ФЭУ-49Б.

Рекомендовано к изданию редсоветом МИФИ

© Амельчаков М.Б., Крылова Н.А., Пята Е.Э., Шутенко В.В., Яшин И.И., 2004

© Московский инженерно-физический институт (государственный университет), 2004

ВВЕДЕНИЕ

Малошумящие фотоумножители с большим диаметром фотокатода необходимы для регистрации слабых световых потоков во многих ядерно-физических экспериментах. Особенно масштабное применение крупногабаритные ФЭУ получили в космофизических детекторах, таких как Баксанский подземный телескоп БНО ИЯИ РАН, Байкальский нейтринный телескоп ИЯИ РАН, нейтринный водный детектор (НЕВОД) МИФИ и др. Основными требованиями к таким фотоумножителям являются: высокая квантовая эффективность, большая чувствительная площадь фотокатода и низкий уровень собственных темновых шумов. Серийно выпускаемые Новосибирским заводом "Экран" фотоумножители с большим диаметром фотокатода (ФЭУ-125, ФЭУ-173, ФЭУ-49Б) были разработаны для регистрации мощных сцинтилляционных вспышек. В соответствии с этим контрольно-измерительное оборудование, используемое в производственно-технологическом цикле, не предусматривало измерений одноэлектронных характеристик ФЭУ. Для контроля параметров новых фотоумножителей, отвечающих требованиям современных детекторов космических лучей, необходимо создание автоматизированных стендов для анализа параметров ФЭУ в процессе их создания и производства.

Препринт посвящен описанию аппаратуры и методики исследования спектрометрических и временных характеристик крупногабаритных ФЭУ на специализированном стенде, созданном совместными усилиями сотрудников МИФИ и ИЯФ СО РАН, и установленного на участке испытаний Новосибирского завода «Экран».

1. ОПИСАНИЕ СТЕНДА

Стенд для калибровки фотоумножителей КАЛИФ-1 состоит из измерительного бокса, крейта с блоками электроники и управляющей ЭВМ. Измерительный бокс 1 (рис.1) представляет собой светонепроницаемый алюминиевый короб размером $600 \times 310 \times 310$ мм³. Стенки бокса покрыты черной краской. Внутри на

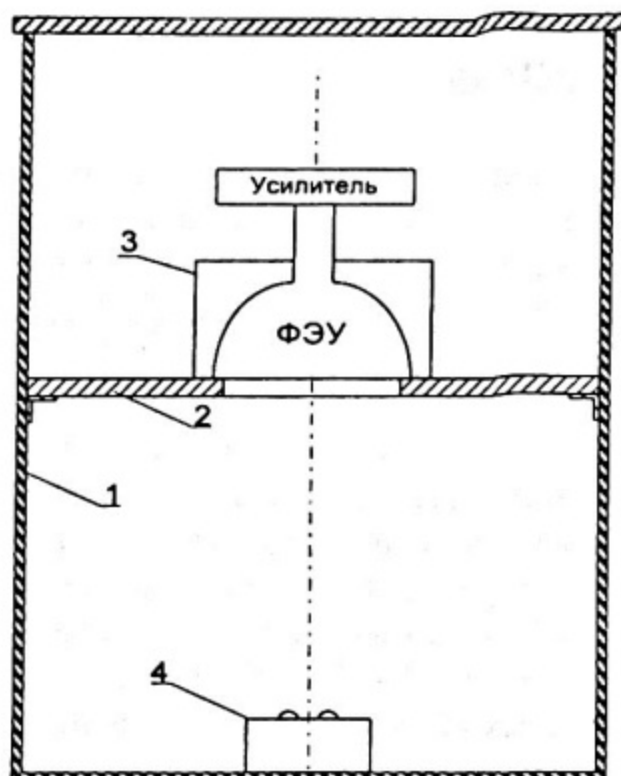


Рис. 1. Измерительный бокс
стенда КАЛИФ-1

специальной платформе 2 находится тестируемый ФЭУ. Для защиты от внешних магнитных полей ФЭУ закрыт пермалоевым экраном 3. В нижней части бокса расположен импульсный источник света 4, состоящий из двух светодиодов KingBright ($\lambda=470\text{нм}$).

1.1. Система управления режимами измерений

Система управления обеспечивает работу стенда по заданному алгоритму согласно разработанной методике измерений. Система имеет блочную

организацию (рис.2) и все блоки размещены в единой корзине-крейте КАМАК. Обмен данными между блоками осуществляется через шину КАМАК под управлением контроллера K0607. Главным элементом системы является блок установки режимов измерений (БУРИ), разработанный для данного стенда на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) фирмы Altera. С помощью специализированного программного пакета **MAX+PLUS Baseline** в него закладывается конфигурация логической части системы управления установкой, которая включает в себя организацию схемы запуска исполнительных блоков, зарядоцифрового преобразователя (ЗЦП), двухканального генератора поджига светодиодов (ГПС). Встроенный генератор (50 МГц) позволяет устанавливать длительность управляющих сигналов и обеспечивает синхронизацию работы блоков.

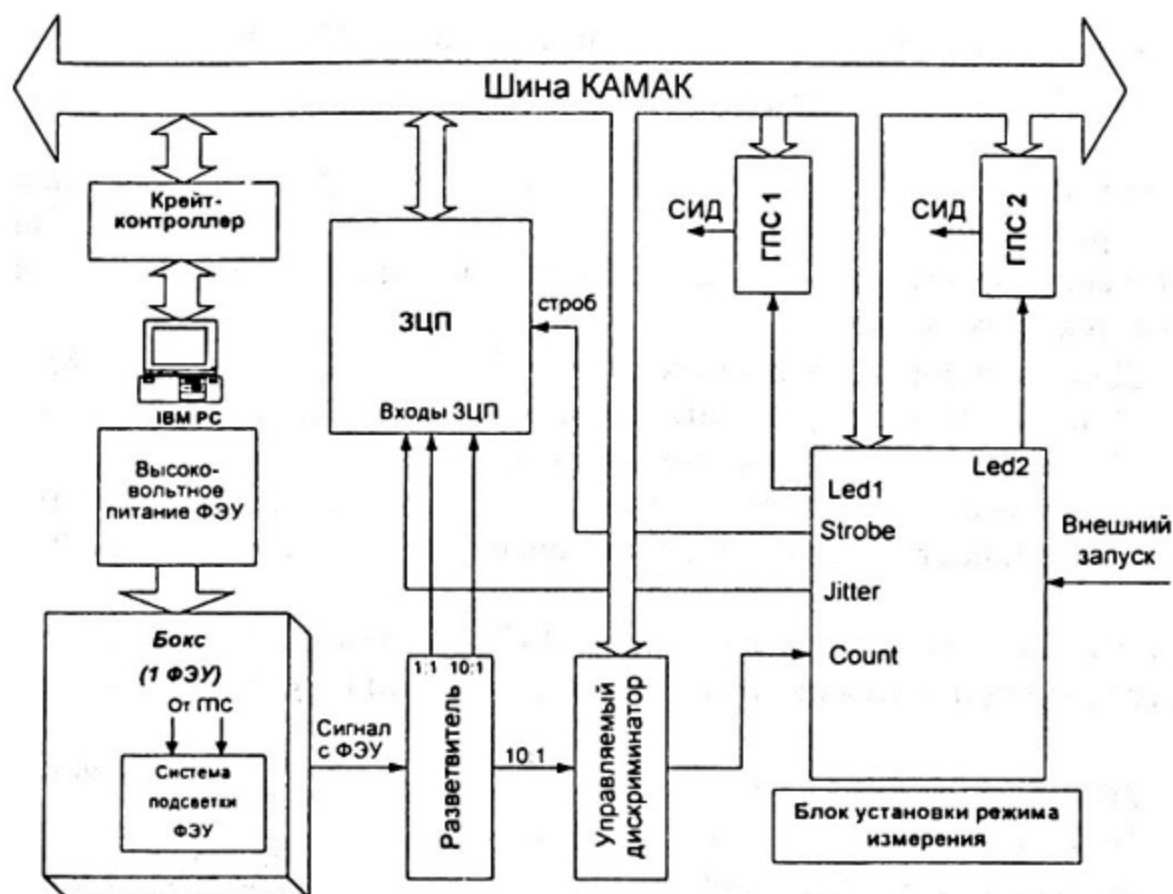


Рис 2. Блок-схема стенда КАЛИФ-1

1.2. Исполнительные модули

В качестве базовых блоков управляющей электроники были использованы блоки КАМАК, созданные в ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

Усилитель смонтирован на одной плате с делителем, которая устанавливается непосредственно на цоколе ФЭУ (см. рис.1), и предназначен для усиления ($K_{yc}=15$) суммарного биполярного сигнала, снимаемого одновременно с анода и 12-го динода ФЭУ, и передачи его в систему регистрации.

Разветвитель необходим для передачи аналогового сигнала с ФЭУ по следующим измерительным каналам:

- триггерный канал ($K_{yc}=10$);

- канал измерения одноэлектронных сигналов ($K_{yc}=10$);
- канал измерения многоэлектронных сигналов ($K_{yc}=1$).

Управляемый дискриминатор Д0302М предназначен для преобразования отрицательных импульсных сигналов, амплитуда которых превышает установленное пороговое значение, в логические импульсы.

Диапазон порогового напряжения, мВ.....	10÷1285
Шаг изменения порога, мВ.....	5
Длительность входных импульсов, нс.....	>5
Входное сопротивление, Ом.....	50
Длительность сформированного сигнала, нс.....	20

Генератор поджига светодиода (ГПС) используется для подачи на светодиод импульсов тока с управляемой амплитудой.

Диапазон амплитуд, мА.....	0÷800
Шаг изменения тока, мА.....	5
Длительность импульсов, нс.....	~ 5
Длительность переднего фронта, нс.....	2
Длительность заднего фронта, нс.....	3
Выходное сопротивление, Ом.....	50

Зарядоцифровой преобразователь Ц0312 предназначен для преобразования заряда поступившего на вход в цифровой код. Блок имеет четыре отдельных канала, работающих одновременно при наличии на управляющем входе активного уровня напряжения (строб).

Длительность строба (время интегрирования), мкс.....	0.2÷5
Чувствительность каналов (строб=200нс), Кл/отч.....	10^{-13}
Диапазон преобразования, бит.....	12
Время преобразования, мкс.....	400

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

С помощью стенда можно измерять в ручном и автоматизированном режимах следующие параметры фотоумножителей:

- коэффициент усиления диодной системы;
- относительную интегральную чувствительность;
- амплитудное разрешение;
- относительное время срабатывания (задержка ФЭУ);
- разброс времени срабатывания (джиттер ФЭУ);
- частоту шумовых импульсов при различных порогах регистрации.

Перечень измерительных процедур, осуществляемых на данном стенде, можно изменять под выполнение конкретных задач перепрограммированием блока БУРИ.

2.1. Измерение коэффициента усиления диодной системы

Все спектрометрические измерения на стенде проводятся с помощью зарядочувствительного ЗЦП. Оцифровываются все импульсы, попавшие на ЗЦП в период активного логического уровня на управляющем входе *строб*. Измерение коэффициента усиления можно осуществлять на стенде как по распределению одноэлектронных импульсов, так и при измерении вспышек, выбивающих из фотокатода большое количество фотоэлектронов.

Традиционно значение коэффициента усиления диодной системы M определяется отношением среднего заряда, измеренного на выходе фотоумножителя в режиме одноэлектронной засветки фотокатода, к заряду одного электрона:

$$M = \frac{\bar{Q}}{q_e},$$

где q_e – заряд электрона.

Одноэлектронный режим засветки ФЭУ достигается при таком уровне световых вспышек, попадающих на фотокатод, при котором эффективность их регистрации не превышает 10%. При этом

примесь многоэлектронных событий не будет превышать 5% от общего числа. Распределение таких импульсов по зарядам, зарегистрированных ФЭУ с жалюзийной диодной системой, не имеет одноэлектронного пика. По такому распределению достаточно трудно определить средний заряд одноэлектронных сигналов. Для решения этой проблемы в МИФИ был разработан метод определения коэффициента усиления для фотоумножителей типа ФЭУ-49Б на основе параметров многоэлектронных распределений, в которых среднее число выбитых электронов много больше единицы [1,2,3]. Согласно этой методике средний заряд одноэлектронного распределения можно определить как:

$$A_{1e} = \frac{\sigma^2}{\bar{A}(1 + \delta^2)},$$

где A_{1e} – значение среднего заряда на выходе ФЭУ при попадании одного электрона на первый диод, выраженного в каналах ЗЦП; $\bar{A}$ и σ – параметры распределения, полученного на ЗЦП при регистрации световых вспышек, выбивающих большое количество фотоэлектронов на фотокатод; δ – разрешение одноэлектронного спектра. Параметр δ является характерным параметром для конкретного типа ФЭУ. Для ФЭУ-49Б $\delta = 0,80 \pm 0,03$. Средний заряд Q от одного фотоэлектрона определяется с помощью известных параметров спектрометрического тракта:

$$\bar{Q} = \frac{A_{1e} \cdot h}{K},$$

где h – чувствительность ЗЦП, K – коэффициент преобразования спектрометрического тракта.

2.2. Измерение относительной интегральной чувствительности

Чувствительность ФЭУ зависит как от квантовой чувствительности фотокатода, так и от коэффициента сбора фотоэлектронов на первый диод. На стенде осуществляется измерение только чувствительности тестируемого фотоумножителя относительно чувствительности эталонного ФЭУ, так как для подсветки используется некалиброванный источник излучения

(светодиод). Уровень подсветки выбирается таким, чтобы отклик эталонного ФЭУ соответствовал нескольким десяткам фотоэлектронов и был постоянным при проведении тестирования всех фотоумножителей. Отношение средних значений амплитуд исследуемого ФЭУ и эталонного ФЭУ, полученных при стандартной подсветке, дает значение относительной интегральной чувствительности. Определение абсолютной интегральной чувствительности для всех ФЭУ возможно при дополнительной калибровке эталонного ФЭУ с применением калиброванного источника света.

2.3. Измерение временных параметров

Измерение временных параметров основано на регистрации момента появления импульса на выходе ФЭУ относительно момента подачи светового импульса. В момент запуска ГПС (см. рис.2) внутри блока БУРИ взводится триггер, логический уровень которого поступает на информационный вход ЗЦП, где при подаче управляющего сигнала *строб* производится его обработка. Если в течение длительности этого сигнала (300 нс) импульс с ФЭУ превысил порог формирования дискриминатора, то триггер сбрасывается. Таким образом, диапазон временных измерений ограничен длительностью сигнала *строб*. Связь между значением амплитуды и временем срабатывания ФЭУ задается формулой:

$$t = \frac{A - A_0}{A_1 - A_0} \times t_0,$$

где t_0 – время стробирования; A – текущее значение амплитуды; A_0 – значение амплитуды, когда на информационный вход приходит логический '0'; A_1 – значение амплитуды, когда на информационный вход приходит логическая '1' и нет сброса триггера.

При запуске режима измерения набирается распределение времен срабатывания формирователя. По полученному распределению находится значение $T_{\text{пик}}$, соответствующее наиболее вероятному значению задержки, и ширина на половине высоты (*джиттер*).

2.4. Измерение темпа счета собственных шумовых импульсов фотоумножителя

Темп счета шумовых импульсов определяется по формуле:

$$\nu = \frac{N}{\Delta t},$$

где Δt – длительность интервала измерения, N – число импульсов, превысивших порог дискриминатора в течение времени Δt . Схема измерения целиком запрограммирована в блоке БУРИ. Порог регистрации можно варьировать в большом диапазоне амплитуд (см. описание Д0302М). Минимальное значение порога должно эффективно обрезать шумы электроники, и составляет ~60 мкВ, приведенных к выходу ФЭУ.

3. ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ

Программа управления режимами работы стенда КАЛИФ-1 написана на языке C++. Основной задачей программы является полная автоматизация производимых измерений, графическое отображение снимаемой информации и ее архивация на жестком магнитном диске.

Программа выполняет следующие основные функции:

- загрузку конфигурации стенда в ПЛИС;
- установку режима измерения;
- установку кода амплитуды светового импульса светодиода;
- съём и обработку информации;
- сохранение получаемых данных;
- графическое отображение получаемых данных;

3.1. Основные блоки программы

Kalif.prj – файл проекта.

Kalif.cpp – основной файл, обеспечивающий работу различных режимов, съём и хранение данных, описание графического интерфейса.

Func.cpp – файл содержит описание основных функций, используемых для управления всеми электронными блоками.

Graph.cpp – графическое представление информации.

K0607.cpp – файл содержит набор функций, обеспечивающих обмен данными между РС и крейт-контроллером.

Define.h – файл содержит сведения о конфигурации системы управления.

3.2. Графический интерфейс

Внешний вид графического интерфейса программы представлен на рис.3. В верхней части экрана расположены опции рабочего окна: **“HELP”** – получение справки о программе, режимах её работы, используемых параметрах;

“File” – запись или удаление файла данных;

”Set” – установка значений параметров (в нижней части экрана) для режимов измерений;

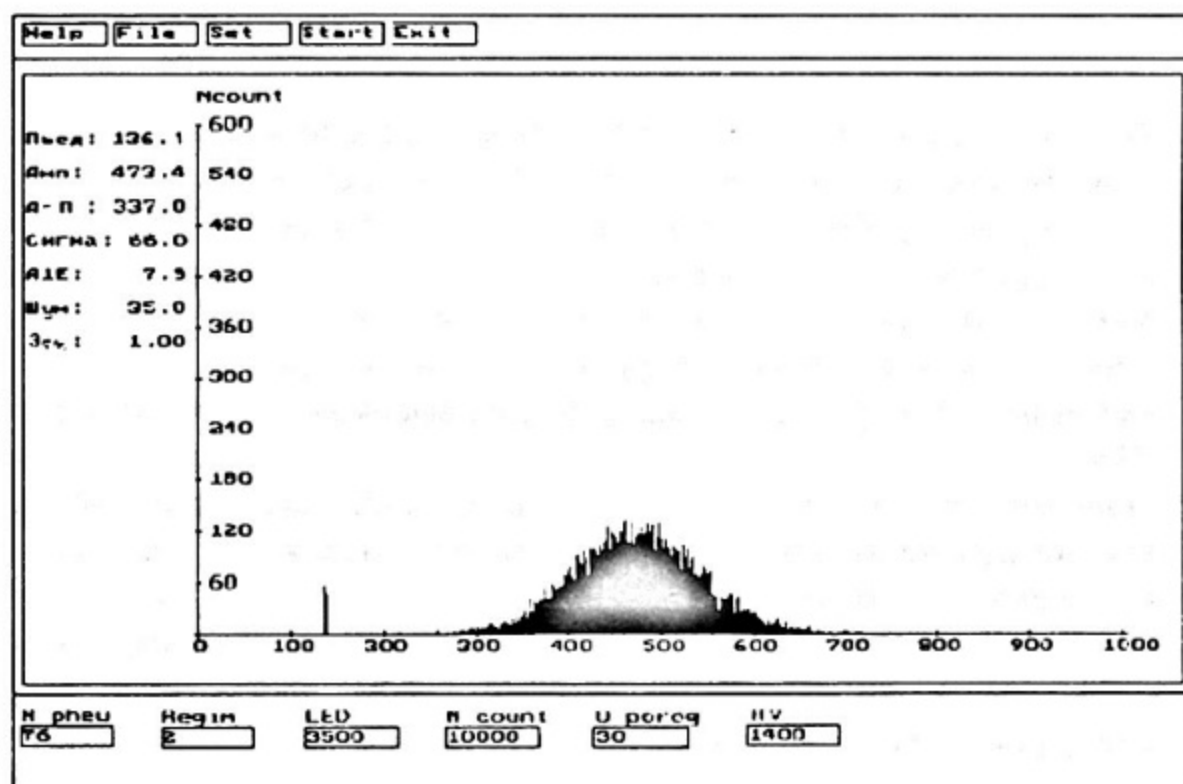


Рис.3. Графический интерфейс программы КАЛИФ

- N pheu – заводской номер фотоумножителя;
- Regim – номер режима измерения (0 – тест; 1 – установка коэффициента усиления диодной системы; 2 – одноэлектронный режим; 3 – измерение временных параметров);
- LED – установка кода, соответствующего уровню светимости светодиода;
- N count – количество запусков измерений;
- U porog – значение кода порогового напряжения на дискриминаторе Д0203М;
- HV – запись напряжения высоковольтного питания ФЭУ (доступен только для Regim=1);

“Start” – запуск режима измерений с установленными параметрами;

“Exit” – выход из программы.

Результаты работы программы в заданном режиме выводятся в виде гистограммы в центральной части рабочего окна и в цифровом виде, слева от оси ординат.

3.3. Режимы измерений

0. *Тестовый режим* применяется исключительно при изменении или отладке самой программы. В этом режиме программно эмулируется работа стенда. На экран выводятся результаты обработки модельных распределений.
1. *Установка коэффициента усиления диодной системы* производится при заданном уровне подсветки светодиода (**LED**) путем подбора требуемого напряжения высоковольтного питания (**HV**).
2. *Одноэлектронный режим измерения* устанавливается подбором уровня подсветки светодиода (**LED**), при заданном напряжении высоковольтного питания (**HV**).
3. *Измерение временных параметров* производится при установленных значениях: в режиме 1 – напряжения высоковольтного питания, и в режиме 2 – уровня подсветки светодиода.

Измерение собственных шумов фотоумножителя производится в каждом из указанных режимов (исключая 0) и результат выводится в цифровом виде (см. рис.3.)

3.4. Результаты измерений

При помощи данного стенда была произведена проверка опытной партии ФЭУ-200 с бищелочным фотокатодом, изготовленных на заводе "Экран".

Все измерения осуществлялись при постоянном коэффициенте усиления диодной системы ($\sim 10^6$) для каждого ФЭУ. Данные тестирования сравнивались с результатами аналогичных измерений характеристик партии ФЭУ-49Б.

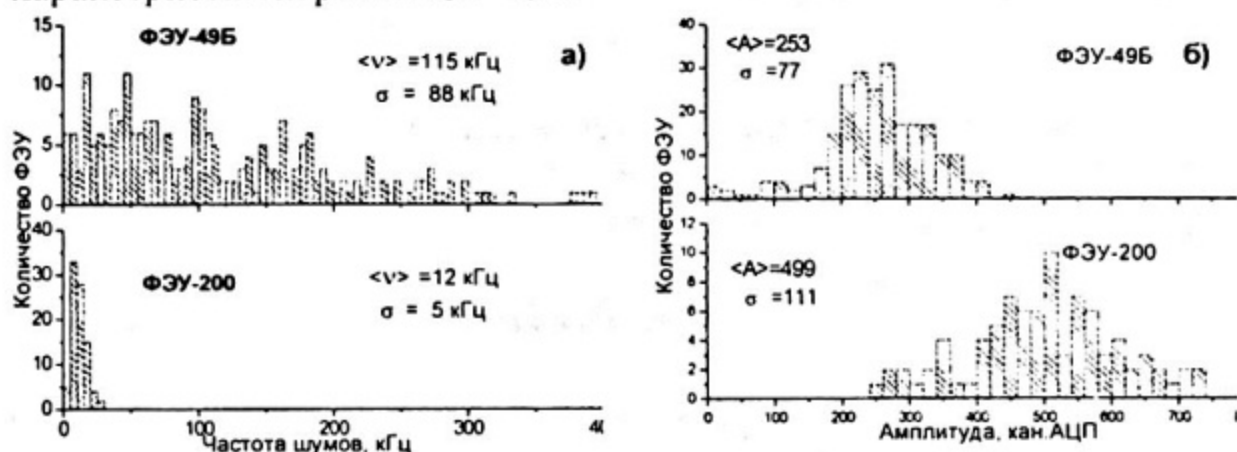


Рис.4. Распределения ФЭУ-200 и ФЭУ-49Б по темпу счета собственных темновых шумов (а) и по средним амплитудам откликам на стандартную подсветку (б)

На рис.4,а приведены распределения по темпам счета темновых шумов как ФЭУ-200, так и ФЭУ-49Б. При этом порог регистрации обеспечивал 90%-ную эффективность регистрации одноэлектронных сигналов. Распределения амплитуд сигналов-откликов ФЭУ на стандартную подсветку, постоянную для всех тестируемых фотоумножителей показано на рис.4,б. Спектры зарядов

одноэлектронных сигналов, зарегистрированных на выходе образцов ФЭУ-200 и ФЭУ-49Б приведены на рис.5.



Рис. 5. Распределения зарядов на выходе ФЭУ при одноэлектронной подсветке

Результаты тестирования на стенде КАЛИФ-1 фотоумножителей ФЭУ-200 показали значительное улучшение их характеристик по сравнению с аналогичными параметрами ФЭУ-49Б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный стенд установлен на участке испытаний Новосибирского завода «Экран» и используется для тестирования спектрометрических и временных характеристик фотоумножителей при регистрации световых потоков, начиная с уровня одноэлектронных сигналов. Данный стенд и разработанная методика измерений в автоматическом режиме дают возможность оперативно контролировать качество выпускаемой продукции, что существенно повышает производительность и эффективность производства фотоумножителей с большим диаметром фотокатода. Интерфейс системы управления стендом позволяет гибко изменять перечень измерительных процедур, что особенно важно на стадии разработки фотоэлектронных приборов. С помощью этого стенда на ОАО «Новосибирский завод «Экран» в рамках программы поддержки приборной базы науки Минобрнауки и Минпромнауки РФ в 2003

г. была изготовлена партия малошумящих фотоумножителей с бищелочным фотокатодом ФЭУ-200 для 110-канального измерительного комплекса установки НЕВОД (рег. № 01-03). ФЭУ-200 является по своим характеристикам аналогом ФЭУ-189, разработанным ЦНИИ «Электрон» с помощью прототипа стенда КАЛИФ-1 при поддержке Минпромнауки РФ.

Работа по созданию автоматизированного стенда выполнялась в рамках контракта № И0803 с федеральной программой «Интеграция».

Список литературы

1. Абин А.В., Айнутдинов В.М и др. Оптимизация одноэлектронных и спектрометрических характеристик ФЭУ-49Б для использования в больших водных детекторах. Препринт МИФИ 053-86, М.: МИФИ, 1986.
2. Айнутдинов В.М., Алалыкин В.Г., Данильченко И.А. Способ измерения коэффициента усиления диодной системы фотоэлектронных умножителей. Препринт МИФИ 082-88, М.: МИФИ, 1988.
3. Алалыкин В.Г., Гавшин С.Б. и др. Использование ФЭУ-49Б для широкодиапазонного количественного анализа потоков коротких световых вспышек. //ПТЭ 1984. N4. С.140.

Михаил Борисович Амельчаков
Артур Витальевич Боженок
Нина Александровна Крылова
Евгений Эдуардович Пята
Виктор Викторович Шутенко
Игорь Иванович Яшин

**Автоматизированный стенд для тестирования характеристик
крупногабаритных ФЭУ**

Рукопись поступила в РИО 19.05.2004

Редактор Н.В.Шумакова

Подписано в печать 5.06.04. Формат 60×84 1/16
Печ.л.1. Уч.-изд.л.1. Тираж 100 экз.
Изд.№ 004-04. Заказ № 488

Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)
Типография МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31