

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

**В. Г. Батий, А. Н. Ненахов, А. А. Правдивый**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

**Н. А. Кочнев, В. В. Селюкова**

*ННЦ ХФТИ, Харьков*

Разработан и изготовлен экспериментальный образец устройства для оперативного измерения угловых распределений гамма-излучения на основе 5 CdZnTe-детекторов. Данные измерений накапливаются в флэш-памяти и при помощи программатора переносятся в компьютер, где производится окончательная обработка данных. Приведены результаты тестовых испытаний.

### Введение

В настоящее время проводятся интенсивные работы по стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие", в скором времени начнутся еще более масштабные работы по строительству нового безопасного конфайнмента. Вопрос снижения трудозатрат при производстве работ в радиационно-опасных условиях объекта "Укрытие" является одним из ключевых.

Основным фактором вредного воздействия на персонал при проведении работ на объекте "Укрытие" является внешнее гамма-облучение [1]. При этом для корректного расчета индивидуальных доз и оптимизации биозащиты необходимо знать угловое распределение гамма-излучения. Методика оптимизации биозащиты с использованием данных по угловым распределениям интенсивности гамма-излучения описана в [2].

Для проведения измерений угловых распределений в ИПБ АЭС была разработана соответствующая методика и создана установка ШД-1 на основе термомюминисцентных детекторов (ТЛД) [3]. Эта методика была использована при проведении предпроектных исследований по стабилизации [4] и в зоне монтажа арки нового безопасного конфайнмента. Результаты исследований были использованы для оптимизации биозащиты при разработке проекта стабилизации. Методика и в настоящее время активно используется для измерений на объекте "Укрытие".

Опыт проведения измерений показал, что применение ТЛД не позволяет оперативно оценивать угловое распределение: требуется достаточно длительное облучение, а затем обработка данных в лабораторных условиях. Необходимость создания оперативной методики особенно четко проявилась в ходе авторского надзора за реализацией проекта стабилизации, когда много раз возникала необходимость быстрой оценки угловых распределений.

В настоящей работе описана модель установки для оперативного определения угловых распределений на основе CdZnTe-детекторов и приведены некоторые результаты ее испытаний в сертифицированной лаборатории ИПБ АЭС.

### Общий подход

В 2004 г., учитывая опыт эксплуатации ШД-1, было выработано техническое предложение по усовершенствованию методики, позволяющие улучшить эксплуатационные качества установки ШД-1, а именно:

- упрощение подготовки установки к измерениям;
- упрощение процесса передачи данных для дальнейшей обработки;
- возможность программного управления процессом измерения;

дистанционное управление процессом измерения;  
 возможность отслеживать динамику изменения углового распределения МЭД;  
 уменьшение времени облучения (при применении более чувствительных детекторов).

Вследствие того, что детекторный блок установки ШД-1 [3] достаточно хорошо оптимизирован по различным параметрам (коэффициент ослабления излучения, угловое разрешение, масса, расположение детекторов), в качестве корпуса экспериментального образца применен ее шарообразный корпус. Поэтому при выборе детектора необходимо было ориентироваться на существующую схему установки.

Был проведен анализ наиболее распространенных типов детекторов и сделаны соответствующие выводы.

Газоразрядные детекторы. Имеют низкую эффективность и не подходят ввиду большой длины. Для сохранения коэффициента ослабления на том же уровне, как и у ШД-1, необходимо будет значительно увеличить размеры корпуса, что сделает установку перемещаемой только с помощью механических средств. Кроме того, такой детектор нельзя считать точечным. У установки на основе газоразрядных детекторов существенно пострадает угловое разрешение.

Сцинтилляционные детекторы. Необходимость применения светоотражателей в конструкции сцинтиллятора, а также преобразователей света (ФЭУ или фотодиодов) делает невозможным создание детектирующих сцинтилляционных блоков приемлемых размеров. Кроме того, наличие указанных элементов исказит картину гамма-поля, детектируемого установкой.

Ge и Ge(Li)-детекторы. Необходимость охлаждения жидким азотом и относительно большие размеры предусилителей делают применение этого типа детекторов в мобильных компактных детектирующих установках невозможным.

CdZnTe-детекторы. Высокая чувствительность, небольшие размеры и широкий динамический диапазон делают эти детекторы более привлекательными.

В результате анализа были выбраны CdZnTe-детекторы, изготовленные так, чтобы их можно было поместить в корпус ШД-1.

Экспериментальная модель была создана на основе корпуса ШД-1, пяти CdZnTe-детекторов, изготовленных в ННЦ ХФТИ. Размер кристалла детектора был выбран  $6 \times 6 \times 3$  мм, при этом капсула с детектором помещается в отверстие в корпусе установки ШД-1 (рис. 1 и 2). Детектор CdZnTe помещен в алюминиевую оболочку и залит герметиком.

### Электронная схема установки

На рис. 1 показана блок-схема электронной части экспериментальной установки.

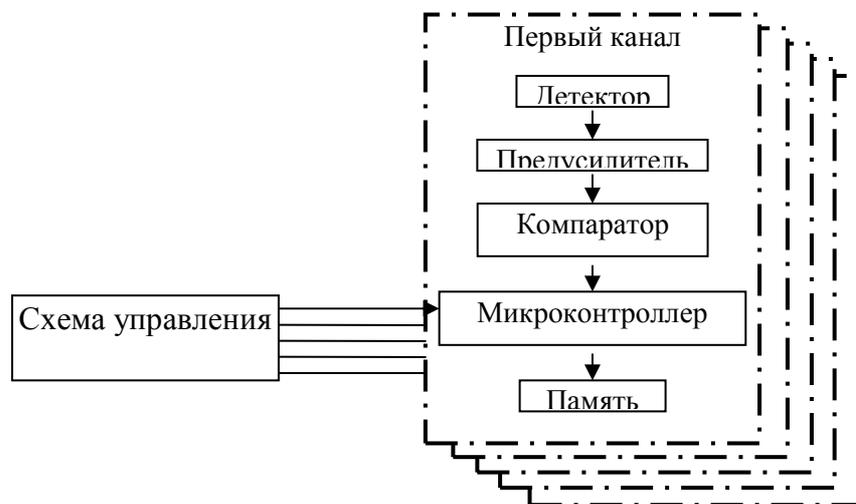


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной модели устройства ШД-3.

Каждый отдельный канал является полностью независимым, взаимозаменяемым и идентичным остальным.

Предусилитель-формирователь принимает импульс от детектора, усиливает его и формирует импульс отрицательной полярности длительностью 10 мкс на полувысоте импульса. Форма импульса близка к распределению Гаусса.

Компаратор-дискриминатор, счетный микроконтроллер, микросхема энергонезависимой памяти и стабилизатор напряжения расположены на отдельной плате.

Компаратор-дискриминатор принимает импульс от предусилителя и формирует импульс отрицательной полярности логического уровня. Уровень дискриминации регулируется для каждого канала детектирования отдельно. Для тестовых исследований он устанавливался на уровне, соответствующем энергии  $^{241}\text{Am}$  (59,6 кэВ).

Для проверки работоспособности методики в различных условиях были разработаны оригинальные электронные схемы, программы для микроконтроллеров и программы для интерпретации считанных данных. Использован программатор PonyProg для считывания и переноса данных из памяти установки в компьютер.

Для применения в экспериментальной установке (в том числе для определения свойств детекторов и электронной части в реальных условиях) была проработано несколько схем опроса и питания детекторов.

На рис. 2 приведена принципиальная схема одного канала детектирования. В схеме компаратора-дискриминатора применен компаратор LM393. Микроконтроллер PIC12C508A и энергонезависимая память 24C16A – одни из самых надежных и дешевых в мире. Питание схемы осуществляется от банка из восьми NiCd-аккумуляторов. Напряжение 100 В, необходимое для работы CdZnTe-детекторов, создается преобразователем напряжения.

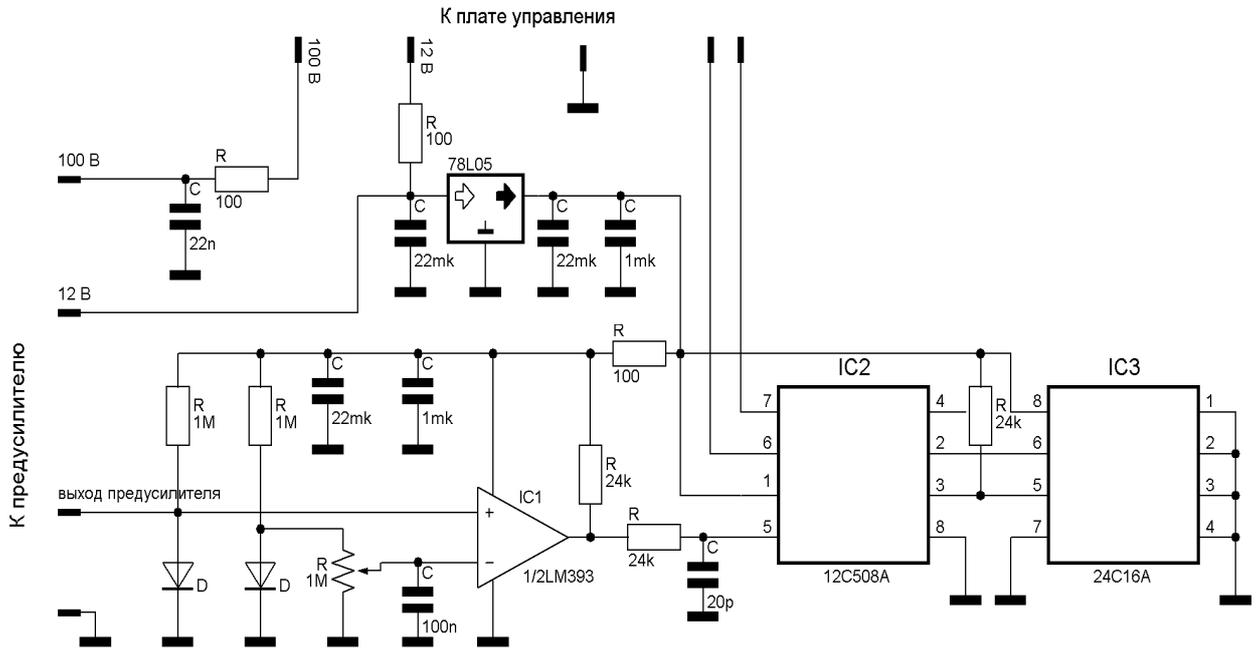


Рис. 2. Принципиальная схема блока первичной обработки и накопления данных.

Микроконтроллер 12C508A (фирма Microchip) запрограммирован специально разработанной программой. Передача накопленных данных происходит по двухпроводному интерфейсу I<sup>2</sup>S на скорости 50 кбит/с. Время отклика на команды внешнего управления (т. е. точность задания временных интервалов) – не более 10 мкс.

В данное время в качестве микросхемы энергонезависимой памяти применена 24С16 (фирма Atmel). Объем памяти 2 кБ (что и ограничивает в настоящее время возможности по количеству накопленных импульсов/проведенных циклов измерений).

Данные измерений, накопленные в памяти, при помощи программатора переносятся в компьютер, где производится окончательная обработка данных.

Для повышения надежности и точности измерений, контроля возможных наводок при работе в полевых условиях вблизи различных источников помех, проверки гипотезы о нормальном распределении, а также для изучения динамики изменения эффективности регистрации под воздействием различных внешних воздействий периодически (в данной модели каждые 8 с) производится запись промежуточных результатов. Объем примененных микросхем памяти ограничил время одного цикла измерений интервалом 2,5 ч.

В качестве источника питания использовался банк из восьми NiCd-аккумуляторов. Напряжение 10 В, емкость 1 Ач. При примененных схемных решениях достаточно для автономной работы в течение 10 ч. Было также изготовлено специальное зарядное устройство для этого банка аккумуляторов.

Преобразователь из 10 В в 100 В (для питания детекторов) обеспечивает стабилизированное выходное напряжение при уменьшении входного до 8 В. Выходной ток – до 10 мА.

Плата управления выполнена в виде кросс-платы, к которой подключаются все детектирующие каналы и источники питания. На плате расположены:

микроконтроллер 12С508А. Вырабатывает по заданной программе импульсы управления для счетных микроконтроллеров;

мониторы напряжений 10 В и 100 В с индикацией светодиодами;

защиты от взаимных наводок каналов по питающим и управляющим линиям.

Для удобства отладки и контроля хода измерений был создан также небольшой индикаторный блок со звуковой и светодиодной индикацией наличия импульсов.

На рис. 3 показана экспериментальная установка ШД-3.

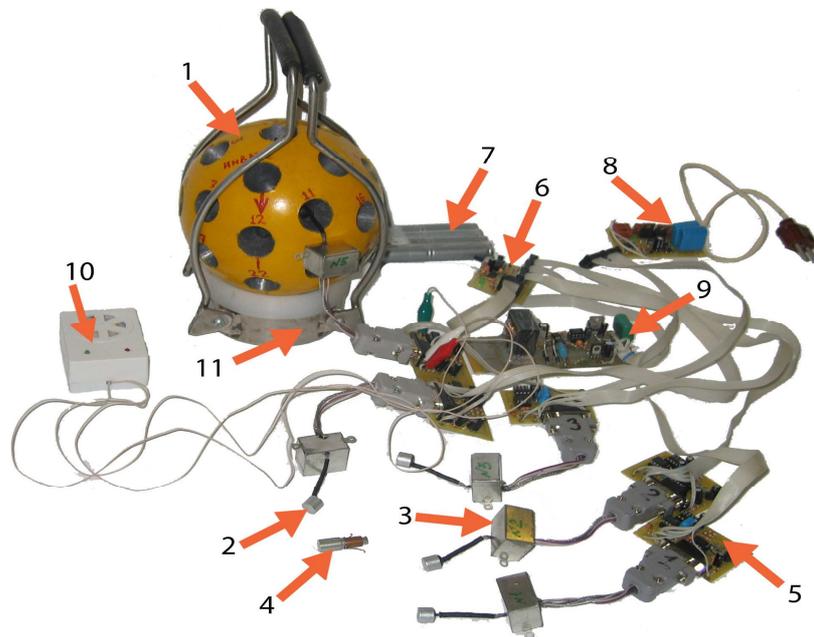


Рис. 3. Экспериментальный образец установки ШД-3:

- 1 – свинцовый корпус с коллимирующими отверстиями; 2 – капсулы с детекторами; 3 – предусилитель; 4 – капсула с ТЛД от ШД-1; 5 – блок предварительной обработки; 6 – тактовый генератор; 7 – аккумулятор; 8 – зарядное устройство; 9 – высоковольтный преобразователь; 10 – блок индикации; 11 – подставка.



Рис. 4. Устройство для считывания и обработки данных.

Данные измерений накапливаются в электрически стираемой/программируемой памяти (СПЗУ) и при помощи программатора данные переносятся в компьютер, где производится окончательная обработка данных для ШД-3.

Программатор PonyProg (рис. 4) с программным обеспечением (<http://www.LancOS.com>) применяется для считывания информации из энергонезависимой памяти и для подготовки ее к следующему циклу измерений.

### Проведение тестовых измерений

На рис. 5 показана установка ШД-3, подготовленная к испытанием.

На рис. 6 показана динамика изменения МЭД от 3,7 мР/ч до 0,35 мР/ч в процессе одного измерения (источник излучения перемещали относительно детектора). Этим самым продемонстрирована возможность использования ШД-3 для изучения динамики изменения угловых распределений гамма-излучения (перемещение контейнеров с радиоактивными отходами, отработавшими сборками и пр.).

В сертифицированной измерительной лаборатории ИПБ АЭС были проведены калибровочные измерения чувствительности к постоянному и переменному магнитным полям, электрическому полю, температуре.

Во всех проведенных измерениях нарушения работоспособности устройства не произошло. При изменении в широком диапазоне электрического (до 6,6 кВ/м) и магнитного (до 400 А/м) полей характеристики устройства не изменялись.

Запись промежуточных результатов (через 8 с) позволяет проводить статистический анализ в процессе каждого измерения. В целом экспериментальные результаты соответствуют нормальному распределению (рис. 7). Статистический анализ показал, что уровень

значимости, т.е. вероятность того, что данное распределение экспериментальных значений не является нормальным, составляет 5 %.



Рис. 5. Экспериментальная установка ШД-3 в процессе измерения.

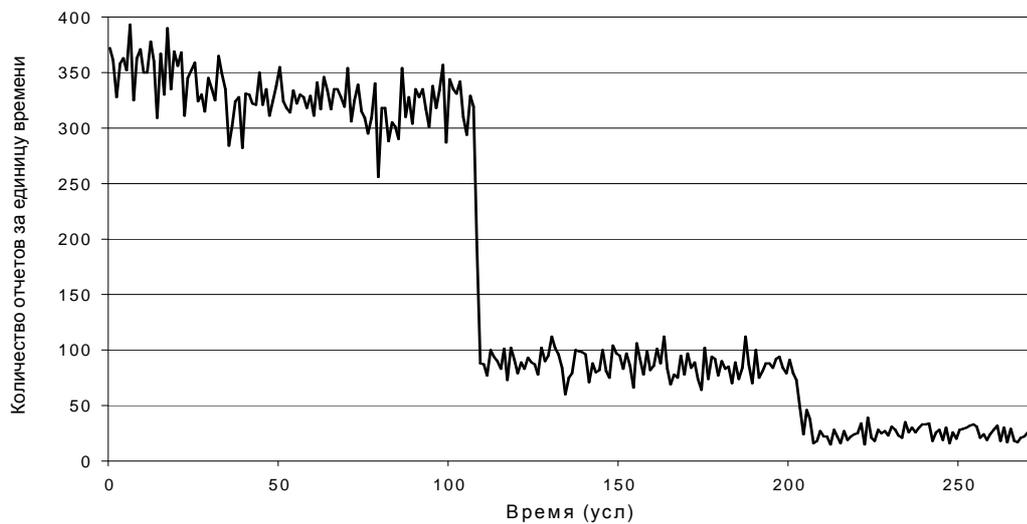


Рис. 6. Распределение количества отчетов по времени. В процессе измерения изменялась МЭД.

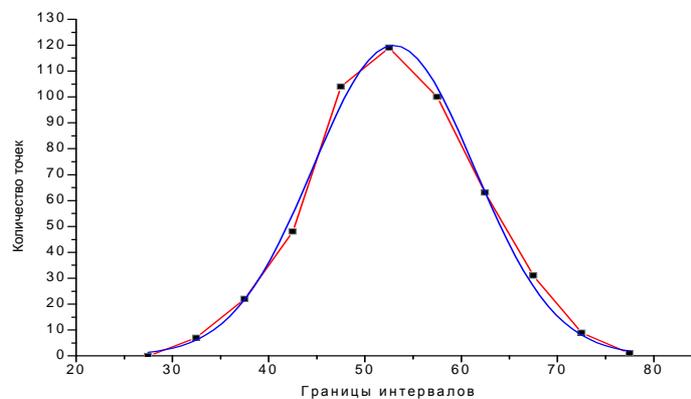


Рис. 7. Сравнение результатов измерений ШД-3 (ломаная кривая) с нормальным распределением (плавная кривая).

Необходимо отметить, что по оценкам чувствительность ШД-3 будет примерно на три порядка чувствительнее, чем ШД-1, а с учетом возможности полной автоматизации измерений область применения методики не только на объекте "Укрытие", но и на действующих ядерно-радиационных объектах существенно расширится.

### Выводы

Проведенные тестовые измерения экспериментального образца устройства ШД-3 подтвердили перспективность использования CdZnTe-детекторов для создания мобильной и автономной многодетекторной установки для оперативного измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения.

Характеристики установки практически не изменяются под воздействием электрических и магнитных полей. Наблюдается небольшое уменьшение эффективности регистрации гамма-излучения с повышением температуры окружающей среды. Этот эффект можно легко учесть путем введения дополнительного термодатчика либо простым учетом данных о температуре в момент измерения.

Результаты измерений показали, что данную систему можно взять за основу для разработки опытного образца ШД-3. В то же время необходимо внести ряд усовершенствований для повышения КПД повышающего преобразователя (в настоящей модели он является основным источником энергопотребления), упрощения процедуры переноса информации в компьютер (в настоящее время каждый канал имеет свою память), уменьшить физические размеры схем. В частности, целесообразно разработать единую плату "компаратор + счетный микроконтроллер" на основе SMD-компонентов с целью совмещения с предусилителем в единый моноблок.

Проведенные исследования подтвердили перспективность использования установки ШД-3 на основе CdZnTe-детекторов для решения широкого круга задач, связанных с измерением радиационной обстановки в самых сложных условиях, поиска источников гамма-излучения, контроля за их перемещением (например, в установках по обращению с радиоактивными отходами) и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алешин А.М., Батий В.Г., Деренговский В.В. и др.* Анализ радиационной безопасности при проведении стабилизационных мероприятий на объекте "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2001. - Вип. 7. - С. 65.
2. *Батий В.Г., Егоров В.В., Закревский Ю.А. и др.* Оптимизация биозащиты с использованием экспериментальных данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вип. 9. - С. 53 - 55.
3. *Батий В.Г., Егоров В.В., Кочнев Н.А. и др.* Методика оценки угловых распределений мощности дозы гамма-излучения в зонах производства работ на объекте "Укрытие" // Там же. - С. 47 - 52.
4. *Алешин А.М., Батий В.Г., Егоров В.В. и др.* Измерение угловых распределений интенсивности гамма-излучения в зонах производства работ по стабилизации объекта "Укрытие". - Чернобыль, 2002. - 47 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ "Укрытие"; 02-1).
5. *Batiy V., Glebkin S., Pavlovskiy L. et.al.* Angular and Energy Characteristics of Gamma Field at the New Safe Confinement Construction Site // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination, & Reutilization, Denver, USA, Aug. 7 - 11, 2005, p. 220 - 227.

Поступила в редакцию 15.12.05

**17 ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ РОЗПОДІЛІВ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАНЬ****В. Г. Батій, О. М. Ненахов, О. О. Правдивий, М. О. Кочнєв, В. В. Селюкова**

Розроблено й виготовлено експериментальний зразок пристрою для оперативного вимірювання куткових розподілів гамма-випромінювання на основі 5 CdZnTe-детекторів. Дані вимірювань накопичуються у флеш-пам'яті та за допомогою програматора переносяться в комп'ютер, де проводиться остаточна обробка даних. Наведено результати тестових випробувань.

**17 THE DEVICE FOR THE OPERATIVE MEASURING OF THE ANGULAR DISTRIBUTING OF GAMMA-RADIATION****V. Batiy, O. Nienakhov, O. Pravdiviy, M.Kochniev, V.Seliukova**

The experimental prototype of device for the operative measuring of the gamma radiation angular distributions on the basis of 5 CdZnTe-detectors was developed and made. Information of measurements is accumulated in memory unit and through programmer it is carried to a computer, where the final data processing is made. The results of tests are presented.