

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА CsI(Tl) СИГНАЛЬНЫМ ПРОЦЕССОРОМ TMS320C2812

*В работе исследованы некоторые методы цифровой обработки сигнала сцинтилляционного детектора гамма спектрометра, что реализованные на вычислительном ядре на базе цифрового сигнального процессора TMS320C2812 фирмы Texas Instruments. Показано, что применение цифровых методов может существенно улучшить характеристики спектрометрического тракта.*

**Ключевые слова:** гамма спектрометрия, сцинтилляционный детектор, цифровая обработка сигнала.

*У роботі досліджені деякі методи цифрової обробки сигналу сцинтиляційного детектора гамма спектрометра, що реалізовані на обчислювальному ядрі на базі цифрового сигнального процесора TMS320C2812 фірми Texas Instruments. Показано, що застосування цифрових методів може істотно поліпшити характеристики спектрометричного тракту.*

**Ключові слова:** гамма спектрометрія, сцинтиляційний детектор, цифрова обробка сигналу.

*The paper describes a hardware implementation of a spectrometer unit for a scintillation detector CsI(Tl) with PMT, based on a digital signal processor TMS320C2812 (Texas Instruments) and reveals some methods of digital processing of a detector signal. The paper shows that the application of digital methods can significantly improve the characteristics of a spectrometer unit.*

**Key words:** gamma-ray spectrometry, scintillation detector, digital signal processing.

**Введение.** В современной экологии проблема радиационного контроля ядерно-технических объектов и окружающей среды стоит достаточно остро. Последние требования к радиационному мониторингу не ограничивают задачу измерением только дозовых характеристик поля гамма излучения. Важно также определить потоковые характеристики поля, спектральный состав излучения и изотопный состав загрязнения с оценкой активности идентифицированных нуклидов. Обычно эта задача решается путем регистрации и анализа гамма спектров поля излучения полевыми спектрометрами радиометрами. В традиционных спектрометрических трактах аналоговый сигнал детектора обрабатывается и фильтруется с помощью усилителя формирователя и затем АЦП определяет максимум полученного сигнала. Невзирая на отработанные в ходе многих лет схемотехнические решения, такой подход имеет внутренние, свойственные ему фундаментальные ограничения. Аналоговый фильтр имеет ограниченную длину. Аналоговые схемотехнические решения очень чувствительны к шумам и дрейфу. Все это влияет на качество сигнала и, как результат, на качество спектра в целом. Современная экспериментальная физика все чаще использует для обработки сигналов от детектор-

ров ионизирующих излучений цифровые методы, которые позволяют детально исследовать форму сигналов и получить более полную информацию, недоступную аналоговым методам. В этих системах сигнал детектора оцифровывается со стробированием непосредственно после некоторой предобработки и усиления. Оцифрованной таким способом сигнал потом фильтруется и оптимизируется с использованием цифровых методов обработки [1, 2].

В рамках данной работы предложены и исследованы некоторые методы цифровой обработки сигнала сцинтилляционного детектора на базе сборки кристалла CsI(Tl) размером  $\varnothing 50 \times 100$  мм. с ФЭУ, программно и аппаратно реализованные на 150 МГц 32 битном цифровом сигнальном процессоре с фиксированной точкой TMS320C2812 фирмы Texas Instruments со встроенным 12 битным бистродействующим АЦП.

**Экспериментальная часть.** Для экспериментальной проверки алгоритмов цифровой обработки сигнала детектора на базе аппаратных и отладочных средств TMS320F2812 eZdsp DSK был реализован макет спектрометрического тракта для оцифровки импульса со стробированием [3]. На вход АЦП подавался сигнал с выхода усилителя формирователя

с длительностью импульса 6 мкс. Частота работы АЦП была выбрана равной 8,3 МГц, поскольку на максимальных для TMS320C2812 12 МГц около половины всех импульсов была деформирована. Это связано с тем что на максимальной заявленной частоте процессор не успевает качественно обрабатывать импульсы и заносить их в спектр. Максимальная длина выборки на единичный импульс равнялась 128. Большинство вычислений проводилось с фиксированной точкой. Все операции, связанные с вычисле-

ниями с плавающей точкой, проводились с использованием библиотеки IQmath.

Спектры гамма излучения снимались для трех изотопов:  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . При этом анализировались пики полного поглощения для соответствующих энергий: -80 и 356 КэВ для  $^{133}\text{Ba}$ , 661 КэВ для  $^{137}\text{Cs}$ , 1.173 и 1.337 МэВ для  $^{60}\text{Co}$ .

На рис. 1 представлены оцифрованные импульсы для указанных энергий, усредненные по всему пику полного поглощения.

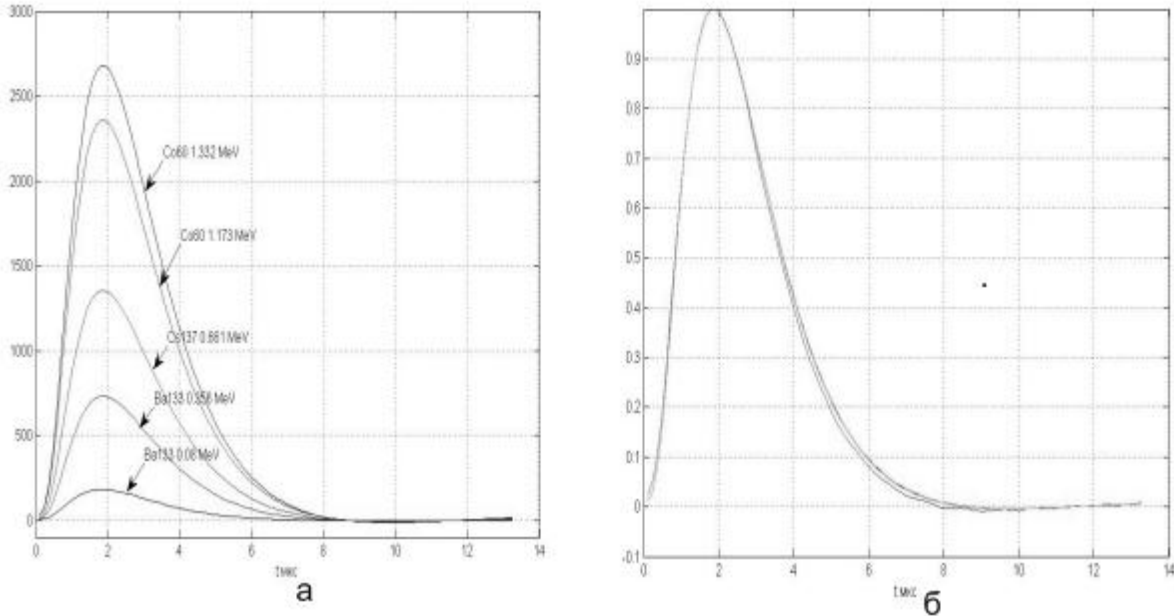


Рис. 1. Формы импульса на выходе усилителя формирователя сцинтиляционного детектора для разных энергий гамма излучения (а) и они же, нормированные по максимуму (б).

Полная длина импульса составила 55-60 выборок, из которых 9-10 выборок приходится на фронт импульса.

Определено, что форма импульса мало зависит от его амплитуды, что отчетливо видно на рис. 1 б. В то же время был зафиксирован некоторый дрейф нулевой линии импульса как функция амплитуды, определяемый по хвосту 128 элементной выборки.

Было определено, что форму импульса можно описать уравнением суммы трех гауссианов (рис. 2).

$$fit(x) = \sum_{i=1}^3 a_i \cdot e^{-\frac{(x-b_i)^2}{c_i}} \quad (1)$$

Коэффициенты  $a, b, c$  уравнения (1) зависят от конкретных характеристик спектрометрического тракта.

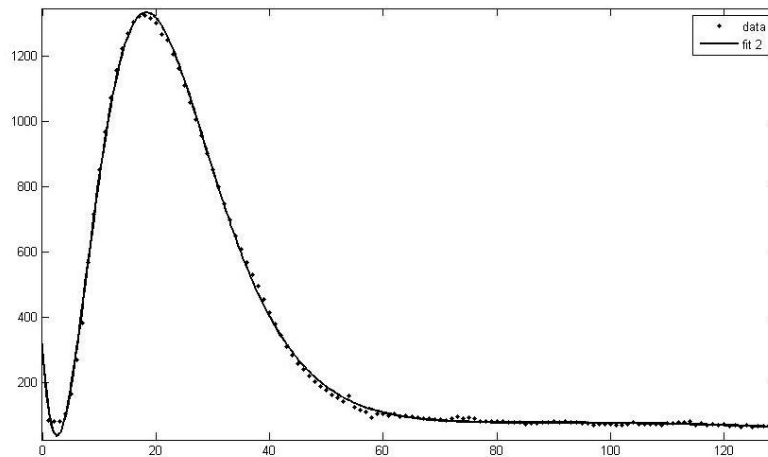


Рис. 2. Аппроксимация импульса суммой гауссианов

**Методы формирования спектра.** Непосредственно 1024 канальный энергетический спектр гамма излучения формировался пятью разными методами обработки оцифрованного импульса. При этом энергия зарегистрированного гамма кванта определялась:

- по максимальной амплитуде импульса;
- по максимальной амплитуде импульса с предшествующей фильтрацией импульса с помощью фильтра Савицкого-Галея;
- по максимальной амплитуде с предшествующей фильтрацией импульса фильтром Савицкого-Галея и последующей коррекцией нулевой линии;
- по интегральной характеристике импульса;

– по интегральной характеристике импульса с коррекцией нулевой линии.

Интегрированию подвергался импульс длиной от -10 до +50 выборок от максимума импульса.

Далее по всем зафиксированным пикам полного поглощения в соответствии с методикой ГОСТ 26874-86 определялись энергетическая зависимость и интегральная нелинейность спектрометрического тракта и относительное энергетическое разрешение детектора.

Полученные результаты в сравнении с аналоговыми схемотехническими решениями представлены в таблице 1.

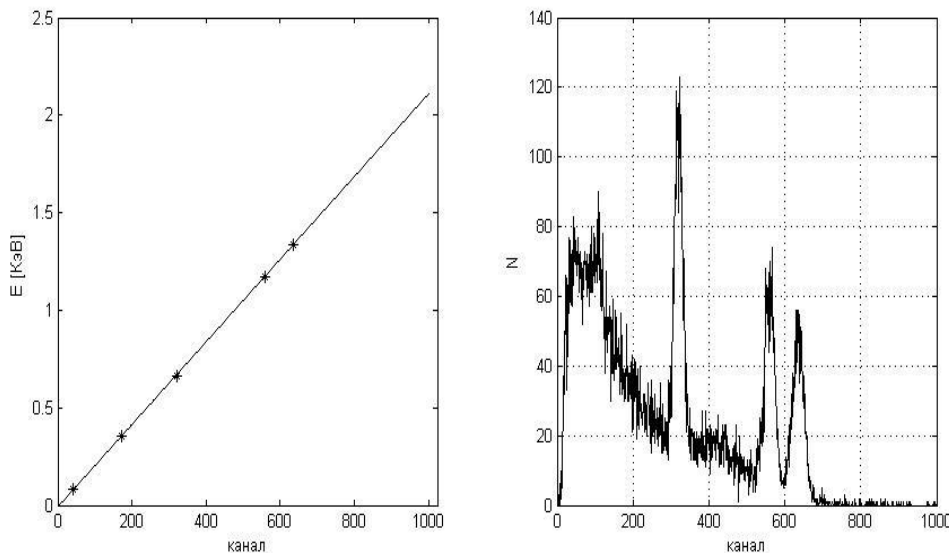
Таблица. 1

**Характеристики спектрометрического тракта**

Способ формирования спектра	Интегральная нелинейность спектрометрического тракта	Относительное энергетическое разрешение детектора по линии 661 КэВ
Аналоговая схемотехника	0,67 %	9,5 %±0,3 %
По максимуму амплитуды импульса	0,66 %	8,72±0,2 %
По максимуму амплитуды с фильтрацией	0,34 %	9,1±0,25 %
По максимуму амплитуды с фильтрацией и коррекцией нуля	0,47 %	9,1±0,25 %
По интегралу импульса	0,36 %	7,43±0,12 %
По интегралу импульса и коррекцией нуля	0,32 %	7,44±0,1 %

Из представленных данных видно, цифровая обработка сигнала показывает лучшие результаты по сравнению с аналоговой. А наилучшие результаты были получены для спектра, сформированного по интегральной характеристике импульса с последую-

щей коррекцией нулевой линии. На рис. 3 приведена энергетическая зависимость спектрометрического тракта, полученного этим методом и зарегистрированный спектр смеси изотопов <sup>137</sup>Cs и <sup>60</sup>Co.



**Рис. 3.** Зависимость эквивалентной энергии импульса от номера канала и спектр смеси изотопов <sup>137</sup>Cs и <sup>60</sup>Co.

**Выводы и рекомендации.** Представленные результаты подтверждают принципиальную возможность реализации методов цифровой обработки импульса сцинтиляционного детектора в мобильных полевых приборах с вычислительным ядром, реализованным

на базе цифрового сигнального процессора TMS320C2812 фирмы Texas Instruments, что может существенно повысить качество процедуры радиационного мониторинга окружающей среды в реальном времени.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кочергин А. В. Методы цифровой идентификации частиц по форме импульса / А. В. Кочергин, А. П. Остроух // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: [науковий журнал – електронне наукове фахове видання]. – 2008. – № 2. – Режим доступа: <http://nbuv.gov.ua/e-journals/Vsunud/2009-4E/09bvaovr.htm>.
2. Мороз Н. Г. Цифровой метод обработки спектрометрической информации в ядерной физике / Н. Г. Мороз // Адаптивні системи автоматичного управління – Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Днепропетровск. – 2008. – Выпуск 12 (32). – С. 92–95.
3. Мороз Н. Г. Использование цифрового сигнального процессора в радиометрических приборах / Н. Г. Мороз // Вісник ВНУ ім. В. Даля. – 2008. – № 1 (119). – С. 135–138.

Рецензенти: д.т.н., зав. каф. СНУ ім. В. Даля Малахов О. В.,  
к.т.н., директор НДПКІ «Іскра» Шаповалов В. Д.

© Кочергин А. В., 2011

*Стаття надійшла до редколегії 24.01.2011*