

Исследование мертвого времени установки $4\pi\gamma$ -счета из состава государственного первичного эталона ГЭТ 6-2016

В статье рассмотрены вопросы учета мертвого времени при использовании счетных методов измерения активности радионуклидов. Дано описание принципа работы диджитайзера на установке $4\pi\gamma$ -счета из состава государственного первичного эталона ГЭТ 6-2016. Приведены результаты исследования влияния мертвого времени на определение скорости счета импульсов.

Г.В. Жуков

(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»,
г. Санкт-Петербург)

Идеальных регистрирующих приборов не существует. Приборы обладают некоторой инерционностью при регистрации частиц. При работе со счетными методами регистрации большое значение имеет правильный учет мертвого времени.

Мертвое время – временной интервал, следующий непосредственно за зарегистрированным событием, в течение которого установка не чувствительна для регистрации частиц (фотонов).

Мертвое время определяет просчеты частиц (фотонов), что занижает наблюдаемую (регистрируемую) скорость счета импульсов.

Живое время – время, в течение которого установка чувствительна для регистрации частиц (фотонов).

Ключевые слова:

мертвое время, живое время, диджитайзер, первичный эталон.

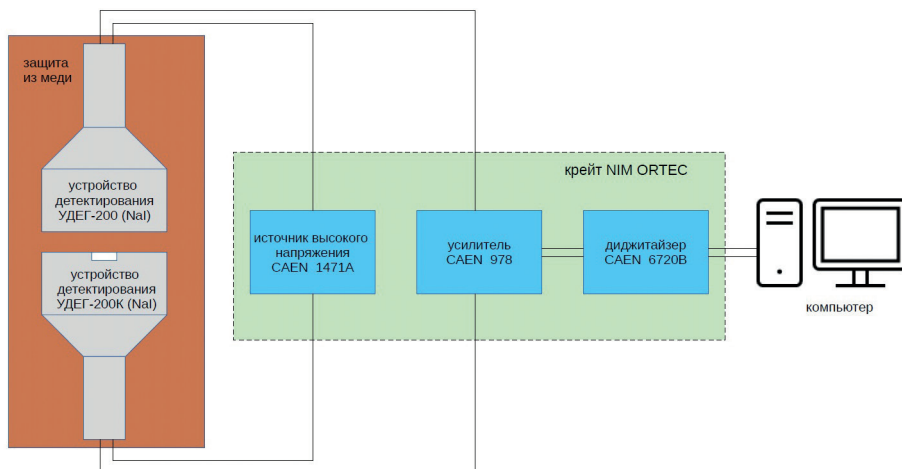


Рис.1.
Блок-схема
установки
УЭА-7.

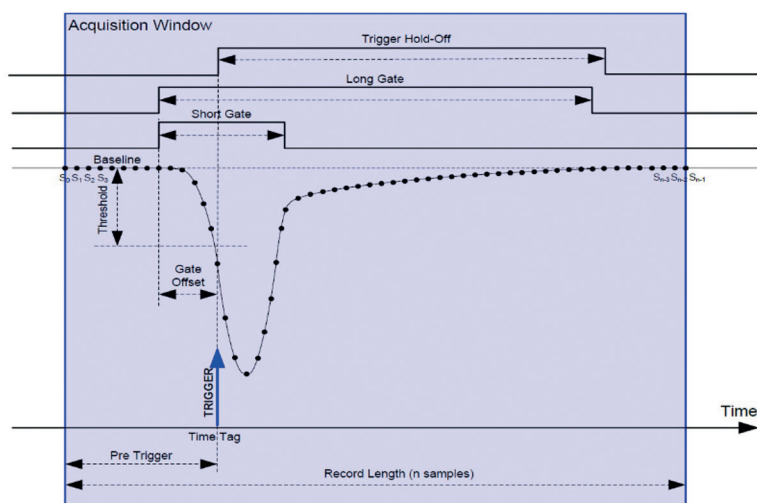


Рис.2. Настройки программного обеспечения диджитайзера.

Описание установки 4π-счета

В период 2012–2016 гг. в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» было выполнено совершенствование и утверждение в новом составе государственного первичного эталона единиц активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-2016 [1].

В состав эталона введена новая эталонная установка УЭА-7, реализующая абсолютный метод измерения активности гамма-излучающих радионуклидов методом 4π-счета. Блок-схема установки представлена на рис.1. УЭА-7 воспроизводит единицу активности гамма-излучающих радионуклидов в диапазоне от $1 \cdot 10^1$ до $1 \cdot 10^5$ Бк и потока фотонов радионуклидных источников в диапазоне от 5 до $5 \cdot 10^4$ с⁻¹.

Устройство детектирования выполнено на основе двух сцинтилляционных детекторов, один из которых представляет из себя кристалл с колодецом. Измеряемый радионуклидный источник помещается в колодець, и детекторы соединяются между собой. Таким образом реализуется 4π-геометрия. В состав установки входит устройство оцифровки сигнала – диджитайзер (digitizer) N6720B производства CAEN – Costruzioni Apparecchiature Elettroniche Nucleari S.p.A. (Италия) с оптической магистралью передачи данных. Тактовая частота устройства – 250 МГц, что позволяет записывать данные с дискретностью 4 нс [2].

Диаграмма, иллюстрирующая настройки управляющего программного обеспечения диджитайзера, представлена на рис.2 [2].

Событие 1			Событие 2			Событие 3
Метка времени	Интеграл по длинному окну	Интеграл по короткому окну	Метка времени	Интеграл по длинному окну	Интеграл по короткому окну	Метка времени
32 бита	16 бит	16 бит	32 бита	16 бит	16 бит	32 бита

Рис.3. Формат записи данных с диджитайзера.

При срабатывании триггера (Trigger) событие регистрируется. Запись включает в себя: метку времени, интеграл сигнала по «длинному окну» (Long Gate), интеграл сигнала по «короткому окну» (Short Gate).

Метка времени 32 бита отсчитывает время с начала эксперимента в тактах устройства оцифровки. Тактовая частота диджитайзера 250 МГц, поэтому метка времени представляет собой значения, кратные 4 нс. Интеграл сигнала по «длинному окну» – сумма значений оцифрованного сигнала от указанного смещения относительно триггера событий до окончания установленной длительности окна. Интеграл сигнала по «длинному окну» позволяет построить спектр фотонного излучения. При обработке импульсов на установке 4 π -счета используется весь интервал спектра. Интеграл сигнала по «короткому окну» – сумма значений оцифрованного сигнала от указанного смещения относительно триггера событий до окончания установленной длительности окна. Диджитайзер имеет четыре независимых канала, данные с которых записываются в отдельные файлы. Каждый файл имеет двоичный формат записи каждого события (рис.3).

В связи с тем, что установка в своем составе имеет два сцинтилляционных детектора, используется только два канала диджитайзера.

Учет мертвого времени

Зависимость скорости счета зарегистрированных частиц (фотонов) от различного типа мертвого времени и реальной (истинной) скорости счета выражается следующими формулами [3]:

$$R = \begin{cases} \frac{\rho}{1 + \rho\tau_M} & \text{для непродлевающегося мертвого времени} \\ \rho e^{-\rho\tau_M} & \text{для продлевающегося мертвого времени} \end{cases},$$

где R – скорость счета зарегистрированных частиц, с^{-1} ; ρ – реальная (истинная) скорость счета импульсов, с^{-1} ; τ_M – мертвое время, с .

Поправку на непродлевающееся мертвое время проводят по формуле: $\rho = \frac{R}{1 - R\tau_M}$.

Значение мертвого времени установки можно определить методом двух источников или методом источника и генератора. Метод двух источников описан в [4]. Уравнение метода двух источников приведено в [5]:

$$\frac{I}{\left(\frac{I}{n_1} - \tau_M\right)} + \frac{I}{\left(\frac{I}{n_2} - \tau_M\right)} = \frac{I}{\left(\frac{I}{n_{12}} - \tau_M\right)} + \frac{I}{\left(\frac{I}{n_\phi} - \tau_M\right)},$$

где n_1 – скорость счета импульсов от первого источника, с^{-1} ; n_2 – скорость счета импульсов от второго источника, с^{-1} ; n_{12} – скорость счета импульсов от двух источников, с^{-1} ; n_ϕ – скорость счета импульсов фона, с^{-1} .

В методе двух источников используют два примерно одинаковых по активности радионуклида источника, каждый из которых создает скорость счета импульсов, равную:

$$n_1 \approx n_2 \approx \frac{0,04}{\tau_M},$$

где τ_M – ожидаемое мертвое время, с; n_1, n_2 – скорости счета импульсов от радионуклидных источников, с⁻¹.

Формула для расчета мертвого времени [5]:

$$\tau_M = \frac{I}{n_{I2}} \left(1 - \sqrt{\frac{(n_{I2} - n_1)(n_{I2} - n_2)}{n_1 n_2}} \right).$$

Формула расчета мертвого времени с учетом фона:

$$\tau_M = \frac{n_1 \cdot n_2 - n_{I2} \cdot n_{\phi} - \sqrt{(n_1 - n_{\phi})(n_{I2} - n_1)(n_2 - n_{\phi})(n_{I2} - n_2)}}{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_{I2} + n_{\phi}) - (n_1 + n_2) \cdot n_{I2} \cdot n_{\phi}}.$$

При использовании метода радионуклидного источника и генератора все измерения проводят так же, только один из источников заменяют генератором.

В случае продлевающегося мертвого времени определение истинной скорости счета импульсов является более сложной задачей. Формулу (1) можно разрешить относительно ρ следующим образом [3]:

$$\rho = R \left[1 + R\tau_M + \frac{3}{2}(R\tau_M)^2 + \frac{8}{3}(R\tau_M)^3 + \frac{125}{24}(R\tau_M)^4 + \dots \right].$$

С использованием аббревиатур $x = \rho\tau_M$ и $z = R\tau_M$ получаем следующую зависимость:

$$x = z \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(k+1)^{k-1}}{k!} z^k = z \left[1 - z \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(kz)^k}{(k+1)!} \right]^{-1}.$$

В реальных измерениях мертвое время, как правило, смешанного типа, что обусловлено не только аппаратными особенностями, но и наложением регистрируемых импульсов, что аналогично потерям импульсов из-за непродлевающегося мертвого времени.

В случае смешанного мертвого времени скорость счета зарегистрированных импульсов можно выразить следующей формулой [3]:

$$R = \frac{\theta \rho}{e^{\theta \rho \tau_M} + \theta - 1},$$

где θ – вероятность попадания события в продлевающееся или непродлевающееся мертвое время, ($\theta = 0$) – непродлевающееся мертвое время, ($\theta = 1$) – продлевающееся мертвое время.

Табл.1. Пример бюджета неопределенности измерений потока бета-частиц.

Наименование источника неопределенности	Вклад в относительную суммарную стандартную неопределенность, %		
	800 с ⁻¹	28900 с ⁻¹	45400 с ⁻¹
Скорость счета импульсов от радионуклидного источника	0,10	0,02	0,02
Скорость счета импульсов фона	0,01	0,001	0,001
Нестабильность установки	0,25	0,25	0,25
Мертвое время	0,03	0,75	1,59
Суммарная относительная стандартная неопределенность (корень из суммы квадратов всех составляющих)	0,27	0,79	1,61
Относительная расширенная неопределенность с коэффициентом охвата $k = 2$	0,5	1,6	3,2

Графически разница между продлеваемым и непродлеваемым мертвым временем представлена на рис.4. В табл.1 представлен пример бюджета неопределенности измерений потока бета-частиц на установке УЭАП-1 из состава ГЭТ 6-2016. Установка состоит из счетчика бета-частиц, системы газового наполнения и измерительного канала. Непродлеваемое мертвое время установки, определенное методом двух радионуклидных источников, составляет 2,6 мкс с относительной стандартной неопределенностью 15%. В качестве примера приведены оценки неопределенности измерений потока бета-частиц радионуклидных источников в различных диапазонах. Как видно из табл.1, мертвое время вносит значительный вклад в неопределенность измерений при больших скоростях счета импульсов.

Мертвое время гамма-спектрометров является сложной функцией параметров измерительной установки и измеряемого спектра [6]. На практике используют различные методы коррекции потерь за счет мертвого времени:

- аппаратная коррекция мертвого времени с использованием таймерного генератора импульсов;
- коррекция просчетов с использованием опорного источника гамма-излучения;
- коррекция просчетов с использованием генератора импульсов точной амплитуды;
- текущая коррекция спектра в процессе измерения.

Регистрация импульсов с помощью диджитайзера и последующей офлайн-обработкой предоставляет большие возможности для применения различных моделей мертвого времени. Реализация алгоритма учета мертвого времени является полностью программной и заключается в создании критерия, согласно которому каждый из зарегистрированных импульсов либо учитывается в счете, либо нет.

Существенным преимуществом цифровой обработки данных измерений является возможность самостоятельного задания значения продлеваемого мертвого времени при обработке данных,

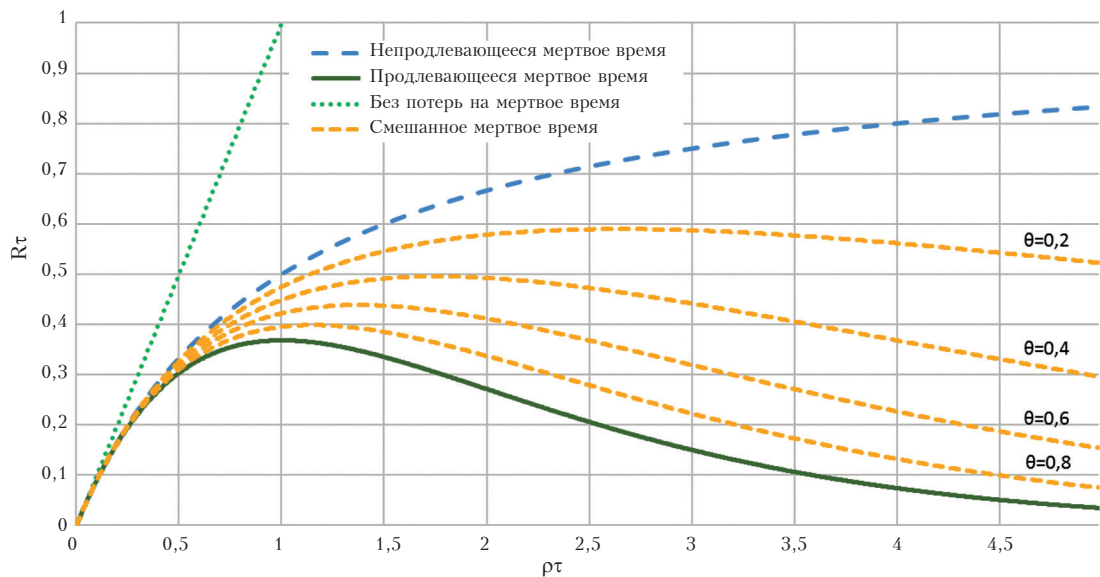


Рис.4. Графическое представление зависимости произведения наблюдаемой скорости счета импульсов на мертвое время ($R\tau_M$) от произведения истинной скорости счета импульсов на мертвое время ($\rho\tau_M$) при различных типах мертвого времени.

записанных диджитайзером. Живое время вычисляется как разница между реальным временем и суммой всех промежутков мертвого времени. Схема учета мертвого времени и определения числа импульсов представлена на рис.5.

Скорость счета импульсов вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{N}{\tau_{\text{реальное}} - \sum_{i=1}^N \tau_{Mi}},$$

где N – количество посчитанных импульсов; $\tau_{\text{реальное}}$ – реальное время измерений, с; τ_{Mi} – мертвое время после регистрации i -го импульса, с.

При этом мертвое время при обработке данных – время смешанного типа, то есть включает в себя одновременно интервалы непродлевающегося и продлевающегося мертвого времени.

Причинами непродлевающегося мертвого времени являются:

- установленный на диджитайзере Trigger Hold-Off, то есть время, в течение которого триггер не срабатывает после регистрации превышения порога;
- наличие эффекта наложения импульсов, что аналогично эффекту непродлевающегося мертвого времени.

Схема работы смешанного мертвого времени представлена на рис.6.

Для исследования влияния мертвого времени на результаты измерений на установке $4\pi\gamma$ -счета использованы два подхода:

1. Обработка длительного измерения $^{166\text{m}}\text{Ho}$ с изменением установленного продлевающегося мертвого времени от 8 мкс до 200 мкс.
2. Анализ изменения скорости счета импульсов при измерении активности короткоживущего радионуклида ^{68}Ga ($T_{1/2} = 67,83$ мин).

Рис.5.
Схема учета мертвого времени и определения числа импульсов.

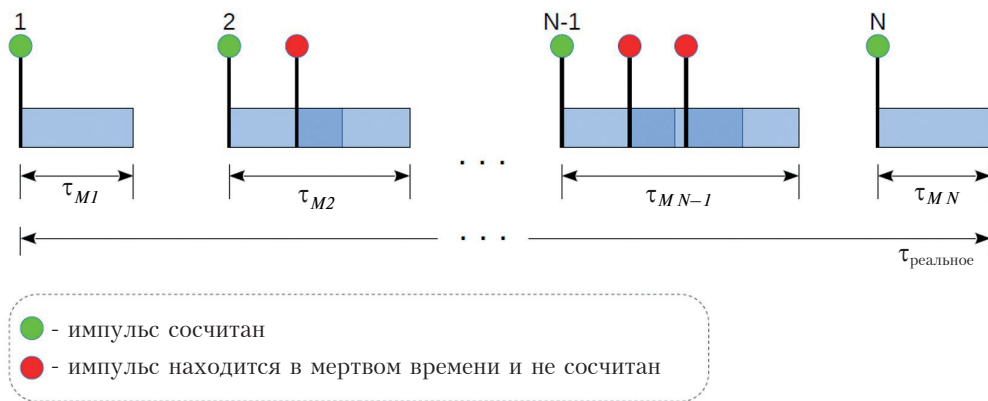
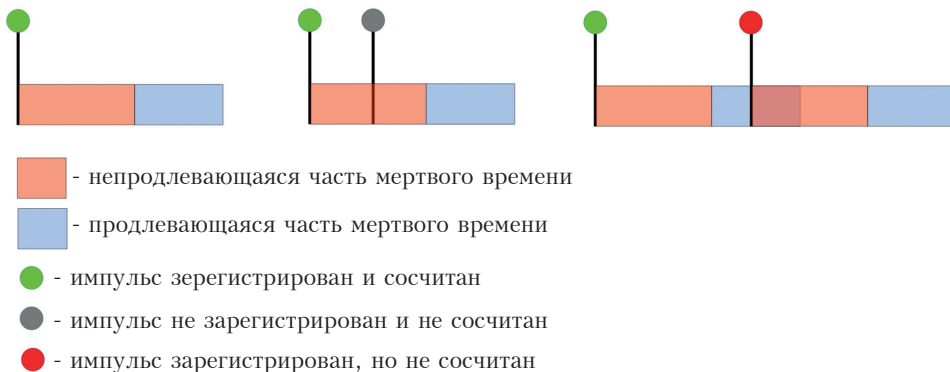


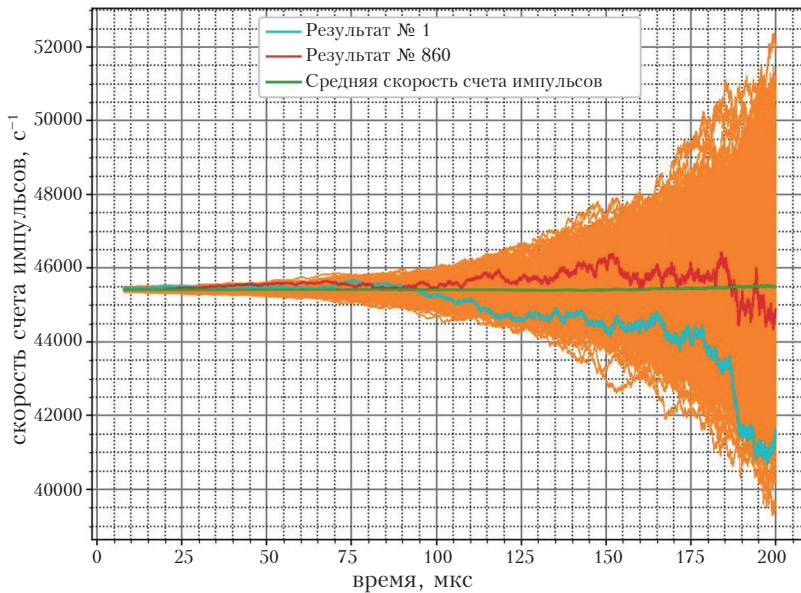
Рис.6.
Схема работы смешанного мертвого времени.



Файлы данных, записанные диджитайзером, рассмотрены по отдельности для независимых каналов и объединены в один файл, что позволяет рассматривать два детектора установки как один объединенный детектор.

Результаты измерения $^{166}\text{m}\text{No}$

На рис.7 представлена зависимость скорости счета импульсов в объединенном канале от установленного мертвого времени при измерении активности $^{166}\text{m}\text{No}$ на установке УЭА-7. Скорость



счета импульсов составляет $\approx 4,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Общее время измерения — 86000 с. Количество интервалов по 100 с — 860. Начальное значение мертвого времени — 8 мкс, конечное — 200 мкс. Дискретность значений — 4 нс, то есть рассмотрено 48001 значений мертвого времени для каждого интервала измерений. Значение живого времени при установленном мертвом времени 8 мкс составляет 69,1%, количество сосчитанных событий — $2,7 \cdot 10^9$. Значение живого времени при установленном

Рис.7. Зависимость скорости счета импульсов от установленного мертвого времени для объединенного канала при измерении $^{166}\text{m}\text{No}$.

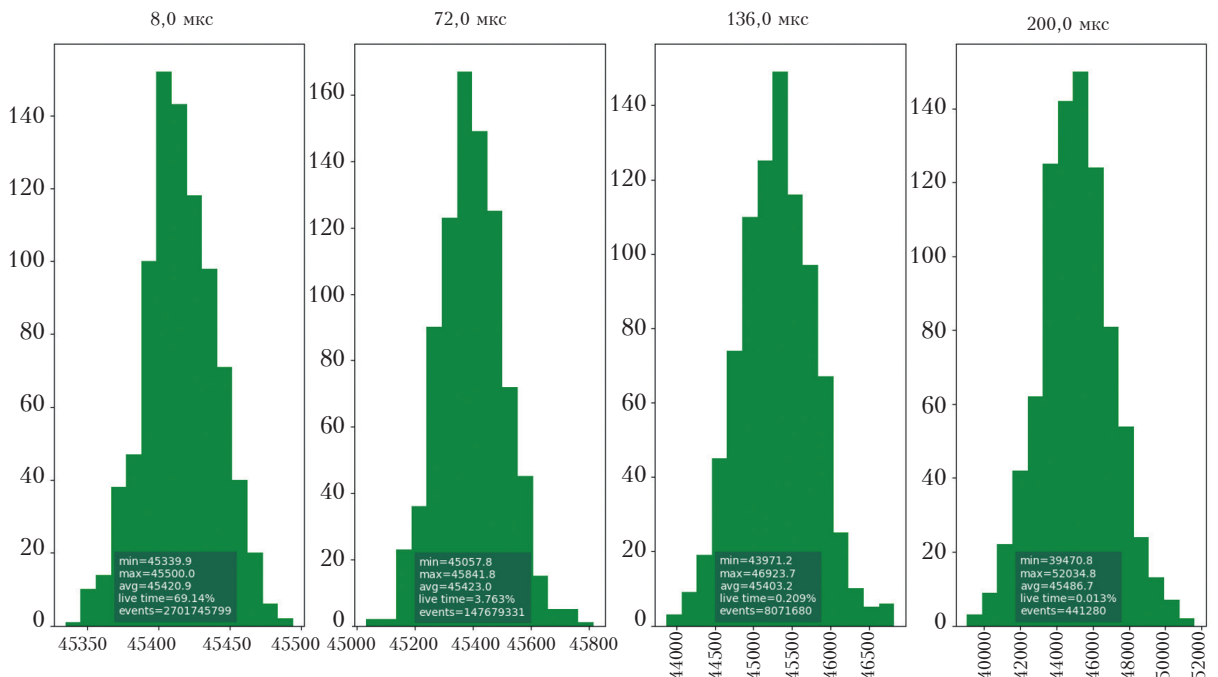


Рис.8. Распределение скорости счета импульсов по интервалам для объединенного канала при измерении $^{166}\text{m}\text{No}$.

мертвом времени 200 мкс составляет всего 0,013%, что соответствует 0,5 с за 1 час измерения, количество сосчитанных событий – $4,4 \cdot 10^5$. Разброс значений в конце графика объясняется небольшим количеством зарегистрированных импульсов (≈ 500).

Распределение скоростей счета импульсов при установках мертвого времени 8 мкс, 72 мкс, 136 мкс и 200 мкс представлено на рис.8. Для проверки гипотезы о нормальности распределения результатов измерений скорости счета импульсов использован критерий К. Пирсона [7], описанный ниже. Результаты измерений разделены на группы. Ширина интервала h постоянна и вычислена по формуле:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{r},$$

где x_{\max} – максимальное значение скорости счета импульсов, с^{-1} ; x_{\min} – минимальное значение скорости счета импульсов, с^{-1} ; r – число интервалов, равное 15.

В соответствии с шириной интервала подсчитано число результатов измерений \tilde{n}_i , попавших в каждый интервал. Вычислены середины интервалов x_{i0} , среднее арифметическое \bar{x} . Среднее квадратическое отклонение результатов измерений S определено по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{k - 1}},$$

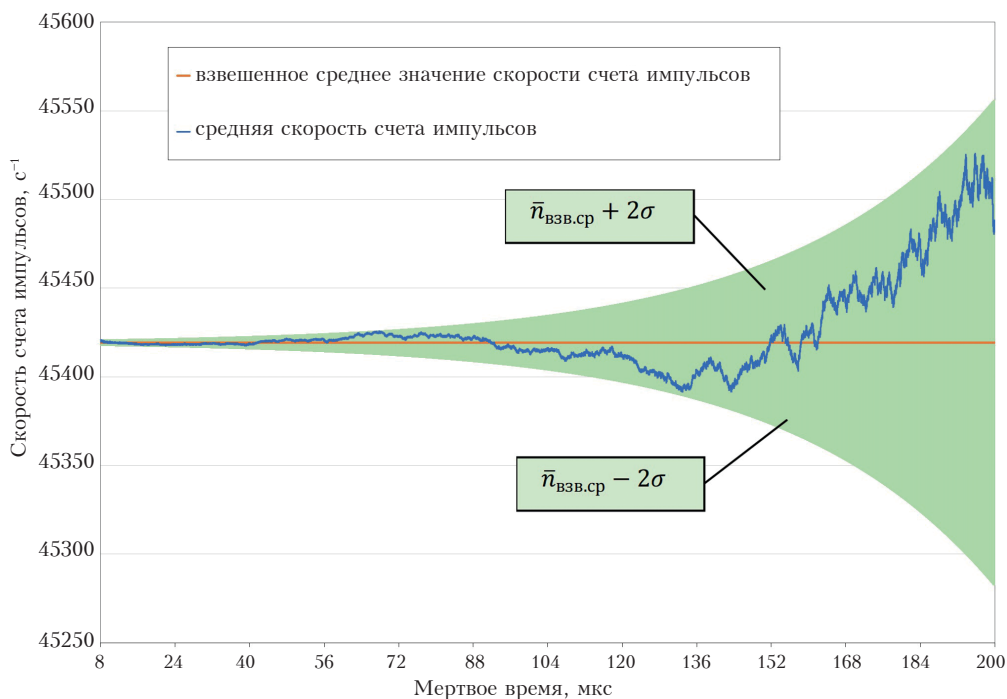
где k – количество результатов.

Количество результатов измерений скорости счета импульсов n_i , которое должно находиться в интервале, если распределение результатов измерений было бы нормальным, определено по формуле:

$$n_i = n \frac{h}{S} \varphi\left(\frac{x_{i0} - \bar{x}}{S}\right),$$

где n – число результатов измерений; φ – плотность нормального распределения $\varphi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\xi^2}{2}}$;

Рис.9.
Распределение
средней
скорости
счета
импульсов
относительно
взвешенного
среднего
значения
скорости
счета
импульсов.



$\Phi\left(\frac{x_{i0} - \bar{x}}{S}\right)$ – вероятность попадания результатов измерений в i интервал.

Для каждого интервала вычислен критерий К. Пирсона по формуле: $\chi_i^2 = \frac{(\tilde{n}_i - n_i)^2}{n_i}$.

Просуммировав χ_i^2 по всем r интервалам, получен: $\chi^2 = \sum_{i=1}^r \left[\frac{(\tilde{n}_i - n_i)^2}{n_i} \right]$.

Число степеней свободы равняется $r - 3 = 12$.

Квантиль $\chi_H^2 = \chi_{0,05;12}^2 = 5,226$, квантиль $\chi_B^2 = \chi_{0,95;12}^2 = 21,026$. Для верности гипотезы о нормальности распределения результатов измерений скорости счета импульсов рассчитанный χ^2 должен находиться между χ_H^2 и χ_B^2 . Результаты вычислений для проверки гипотезы о нормальности распределения результатов измерений представлены в табл.2.

Пле подтверждения гипотезы о нормальности распределения результатов измерений проведен анализ распределения средней скорости счета импульсов относительно взвешенного среднего значения скорости счета импульсов (рис.9).

Взвешенное среднее значение скорости счета импульсов определено по формуле:

$$\bar{n}_{\text{взв.ср.}} = \frac{\sum_{j=1}^q (N_j \cdot \bar{n}_{\text{ср.}j})}{\sum_{j=1}^q N_j},$$

где N_j – вес j -го значения, равный количеству сосчитанных импульсов при j -й установке мертвого времени; $q = 48001$ – количество установок мертвого времени.

Область, выделенная зеленым цветом, ограничена средним квадратическим отклонением

$2\sigma = \frac{2}{\sqrt{N}}$, где N – количество сосчитанных импульсов. При установке мертвого времени 8 мкс $2\sigma = 0,004\%$, при 200 мкс $2\sigma = 0,3\%$.

Средняя скорость счета импульсов не вышла за пределы 2σ , что говорит о случайном характере значений средней скорости счета импульсов при различных настройках мертвого времени.

Табл.2. Результаты вычислений для проверки гипотезы о нормальности распределения результатов измерений.

Наименование	Значение			
Мертвое время, мкс	8	72	136	200
Количество результатов	860			
Количество интервалов	15			
Минимальная скорость счета импульсов, с ⁻¹	45339,9	45057,8	43971,2	39470,8
Максимальная скорость счета импульсов, с ⁻¹	45500,0	45841,8	46923,7	52034,8
Средняя скорость счета импульсов, с ⁻¹	45420,9	45423,0	45403,2	45486,7
Ширина интервала, с ⁻¹	10,67	52,27	196,84	837,60
СКО, с ⁻¹	25,46	112,23	478,5	1973,9
СКО, %	0,056	0,247	1,05	4,34
χ^2	15,251	17,283	16,680	8,860
$\chi_H^2 = \chi_{0,05;12}^2$	5,226			
$\chi_B^2 = \chi_{0,95;12}^2$	21,026			
Гипотеза о нормальности распределения	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Соответствует

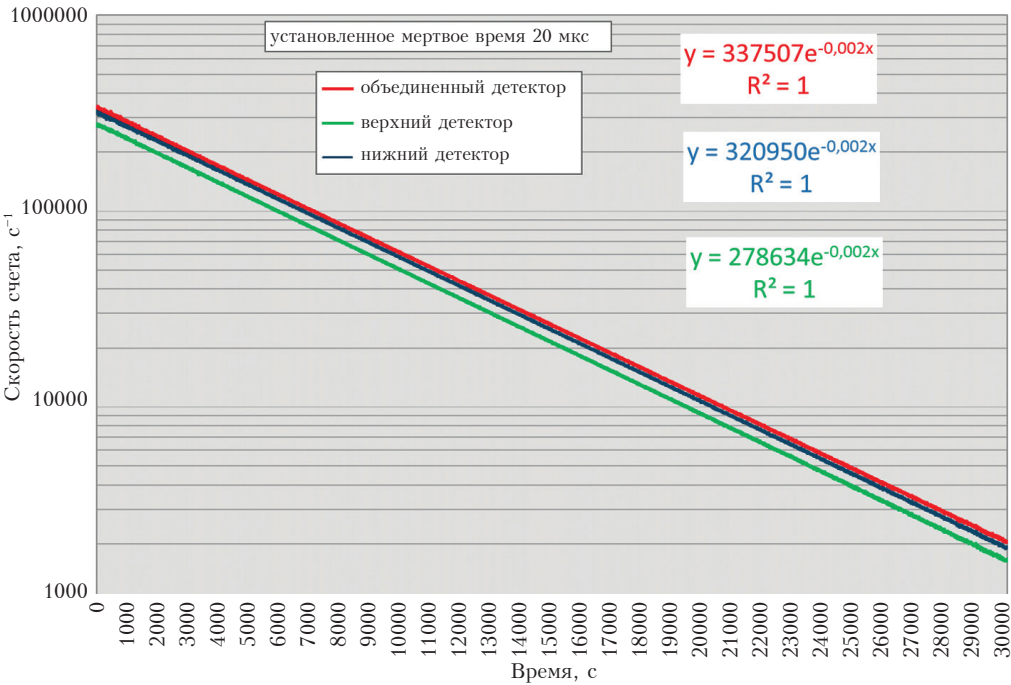


Рис.10. Изменение скорости счета импульсов при измерении Ga-68. Установленное продлевающееся мертвое время 20 мкс.

Табл.3. Результаты измерений при установленном мертвом времени 10 мкс и 20 мкс.

Детектор	Мертвое время, мкс	Живое время в первые 10 с, %	Формула уравнения тренда	R ²
Объединенный детектор	10	4,07	$y = 337400e^{-0,002x}$	1
	20	0,14	$y = 337507e^{-0,002x}$	1
Верхний детектор	10	8,43	$y = 320864e^{-0,002x}$	1
	20	5,17	$y = 320950e^{-0,002x}$	1
Нижний детектор	10	6,37	$y = 278557e^{-0,002x}$	1
	20	2,52	$y = 278634e^{-0,002x}$	1

Результаты измерения ⁶⁸Ga

Наглядным способом проверки правильности обработки данных, записанных диджитайзером при больших нагрузках, является измерение короткоживущего радионуклида ⁶⁸Ga (T_{1/2} = 67,83 мин). На рис.10 представлено изменение скорости счета импульсов за время 30000 с (приблизительно 7,5 периодов полураспада) для верхнего, нижнего и объединенного детектора при установке мертвого времени 20 мкс. Общее время измерения разделено на диапазоны по 10 с, то есть на графике представлено по 3000 значений скорости счета импульсов. Для каждого детектора приведена формула уравнения тренда и величина достоверности

аппроксимации R^2 , вычисляемая по формуле:
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - P_i)^2}{\left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right) - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}}$$
 , где y_i – эксперимен-

тальные значения; P_i – значения линии тренда; n – количество значений.

В табл.3 представлены данные обработки результатов измерений при различных настройках мертвого времени. Величина достоверности аппроксимации R^2 , равная 1, показывает точное

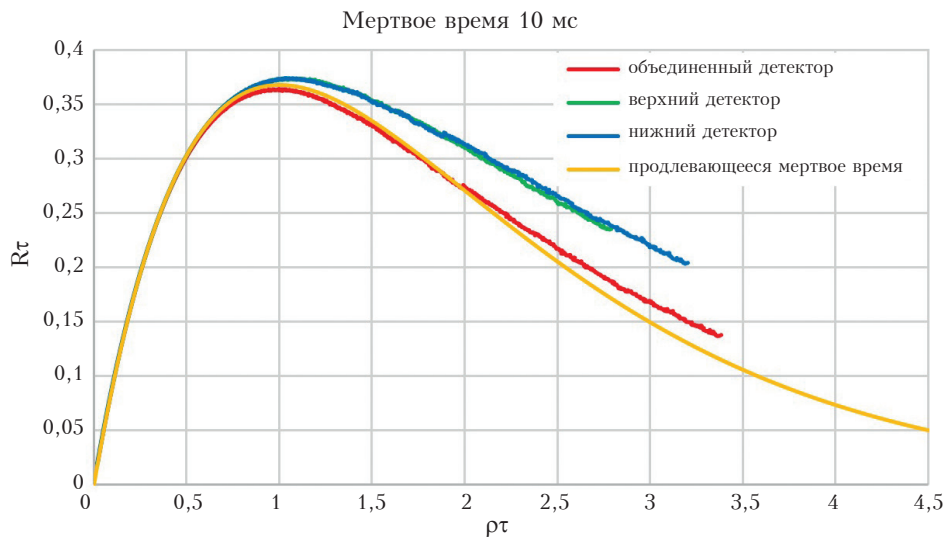


Рис.11. Графическое представление зависимости произведения наблюдаемой скорости счета импульсов на мертвое время ($R\tau_M$) от произведения истинной скорости счета импульсов на мертвое время ($\rho\tau_M$) при установленном мертвом времени 10 мкс.

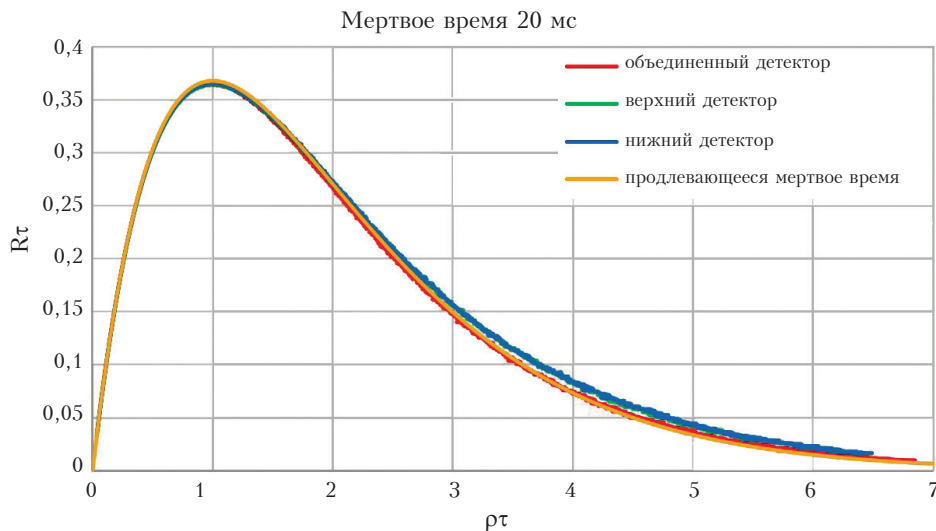


Рис.12. Графическое представление зависимости произведения наблюдаемой скорости счета импульсов на мертвое время ($R\tau_M$) от произведения истинной скорости счета импульсов на мертвое время ($\rho\tau_M$) при установленном мертвом времени 20 мкс.

соответствие уменьшения скорости счета импульсов экспоненциальной функции. При этом значения скорости счета импульсов в начальный момент времени при разных установках мертвого времени отличаются на 0,03%.

Зависимость произведения наблюдаемой скорости счета импульсов на мертвое время ($R\tau_M$) от произведения истинной скорости счета импульсов на мертвое время ($\rho\tau_M$) при установленном продлевающемся мертвом времени 10 мкс и 20 мкс представлена на рис.11 и 12.

Различие между полученной зависимостью произведения наблюдаемой скорости счета импульсов на мертвое время ($R\tau_M$) от произведения истинной скорости счета импульсов на мертвое время ($\rho\tau_M$) и теоретическим графиком для продлевающегося мертвого времени объясняется смешанным типом мертвого времени при обработке данных, записанных диджитайзером.

Увеличение значения мертвого времени от 10 мкс до 20 мкс приближает полученные зависимости $R\tau_M$ от $\rho\tau_M$ к теоретической для продлевающегося мертвого времени вследствие увеличения доли импульсов, попавших в продлевающееся мертвое время и уменьшения доли импульсов, попавших в непродлевающееся мертвое время.

Заключение

Использование диджитайзера для регистрации импульсов на установке $4\pi\gamma$ -счета из состава ГЭТ 6-2016 позволяет увеличить верхний диапазон измерения потока фотонов в 6 раз с $5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ до $3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ и, соответственно, увеличить верхний диапазон измерения активности радионуклидов со снижением неопределенности измерений за счет исключения вклада мертвого времени из бюджета неопределенности. Однако время измерения активности радионуклидов на высоких нагрузках должно быть достаточно большим для уменьшения статистической составляющей неопределенности измерений вследствие уменьшения количества регистрируемых импульсов из-за малого живого времени.

Литература

1. Алексеев И.В., Заневский А.В., Жуков Г.В., Моисеев Н.Н., Сэпман С.В., Терещенко Е.Е., Трофимчук С.Г., Харитонов И.А., Шильникова Т.И. Государственный первичный эталон единиц активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-2016 // Измерительная техника. 2019. № 8. С. 3-7.
2. UM2580 – DPP-PSD User Manual. Rev. 8 – September 29th, 2016.
3. J.W. Muller, «Generalized dead times», *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. 301, no. 3, pp. 543-551, 1991.
4. P.B. Moon, «Recent developments in Geiger-Muller counters», *J. Sci. Instr.*, vol. 14, no. 6, pp. 189, 1937.
5. A.P. Baerg, «Variation on the Paired Source Method of Measuring Dead Time», *Metrologia*, vol. 1, no. 3, pp. 131-133, 1965.
6. Бушуев А.В., Кожин А.Ф., Алеева Т.Б., Петрова Е.В., Зубарев В.Н. Практическая спектрометрия ядерных излучений. Учебное пособие. М.: НИЯН МИФИ, 2016. 260 с.
7. ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

Investigation of the Dead Time of the $4\pi\gamma$ -Counting Technique from the Primary Standard GET 6-2016

Zhukov Grigoriy (D.I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM), St. Peterburg, Russia)

Abstract. The article considers the issues of accounting for dead time when using counting methods for measuring the activity of radionuclides. The description of the principle of operation of the digitizer on the $4\pi\gamma$ -counting technique from the primary standard GET 6-2016 is given. The results of the study of the effect of dead time on the determination of the pulse counting rate are presented.

Key words: *dead time, live time, digitizer, primary standard.*

Г.В.Жуков (и.о. рук.отд.) – ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург.
Контакты: тел. +7 (812) 323-96-17; e-mail: zg@vniim.ru, gvzhukov@gmail.com.