

P13-2007-32

Ж. К. Саматов, А. А. Стахин, В. И. Фоминых

СТАБИЛИЗАЦИЯ СПЕКТРОВ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ  
ПОСРЕДСТВОМ АППАРАТУРНОЙ И ПРОГРАММНОЙ  
КОРРЕКЦИИ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Саматов Ж. К., Стахин А. А., Фоминых В. И.  
Стабилизация спектров ядерных излучений посредством  
аппаратурной и программной коррекции

P13-2007-32

Описаны два типа стабилизаторов спектров ядерных излучений. В первом случае коррекция нестабильности производится изменением параметров разрядного устройства АЦП путем подачи корректирующего напряжения. Во втором случае изменяется амплитуда аналоговых сигналов с выхода линейного усилителя при помощи термосопротивления, снабженного обмоткой подогрева. Предполагается внесение изменений в программу накопления спектров излучений с целью реализации исполнительных КАМАК-команд. Показано, что с помощью математических преобразований можно скорректировать искажения спектров, вызванные нестабильностью аппаратуры.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2007

Samatov Zh. K., Stahin A. A., Fominykh V. I.  
Stabilization of Nuclear Radiation Spectra by Means  
of Equipment and Software Correction

P13-2007-32

Two types of the stabilizer spectra of nuclear radiations are described. In the first event the correction of instability is produced by changing parameters of the ADC device by presenting correcting voltages. The amplitude of analog signals changes in the second event with leaving the linear amplifier with the help of thermoresistors supplied by heating winding. Contributing the changes is expected to the program of the accumulation of radiation spectra for the reason of realization of executive CAMAC commands. It is shown that by means of mathematical transformations it is possible to correct distortion spectra, caused by instability of the equipment.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2007

## ВВЕДЕНИЕ

Особенности исследований на установке УМКС [1] комплекса ЯСНАПП-2 [2] — длительные, в течение нескольких суток, непрерывные измерения спектров ядерных излучений с последующим повторением через 1–2 месяца. Анализ результатов измерений показал неоправданное увеличение погрешностей в определении характеристик пиков в спектрах, связанное с нестабильностью аппаратуры.

Из анализа публикаций за последние несколько десятков лет, связанных с нестабильностью измерительной аппаратуры, следует отметить определенный интерес к этой проблеме до конца 1970-х гг. [3–6].

Разработка и внедрение ППД с существенно (на 1–2 порядка) более высокой разрешающей способностью регистрации ядерных излучений по сравнению со сцинтилляционными детекторами потребовали соответствующей, высокостабильной аналоговой аппаратуры с минимальными значениями шумовых характеристик.

Мировой рынок незамедлительно отреагировал созданием конкурирующих фирм ORTEC, CANBERRA, SCHUMBERGE и др. по производству широкого набора аналоговых блоков, предназначенных для прецизионных ядерно-спектроскопических измерений, разработанных с использованием новейших технологий в сочетании с достижениями в области элементной базы. Появление измерительной аппаратуры нового поколения на какой-то период сняло остроту с проблемы стабильности при проведении относительно кратковременных (в течение нескольких суток) измерений.

Новые инициативы исследований фундаментальных взаимодействий в ядрах методами ядерной спектроскопии в конце 1970-х – начале 1980-х гг. [6–10] потребовали проведения уже многомесячных и многолетних экспериментов. Обеспечение стабильности и повторяемости результатов вновь обрело актуальность. Так, фирма Canberra разработала и предложила блоки стабилизаторов спектров [11].

В качестве примера эффективности термостатирования аналоговой аппаратуры в работе [12] описана экспериментальная установка для измерения  $(\beta-\nu)$ -корреляций в  $\beta$ -распаде, на которой были получены важные физические результаты.

В нашем случае для уменьшения влияния нестабильности мы воспользовались рекомендациями авторов работ [5, 13] по изменению коэффициента усиления спектрометрического тракта путем

- подачи корректирующего напряжения для стабилизации в случае использования АЦП типа КА-007 [13],
- изменения тока в обмотке подогрева термосопротивления [5] в случаях использования АЦП любого типа.

На рис. 1 показаны флюктуации фотопика  $E_\gamma = 1332$  кэВ  $^{60}\text{Co}$  без применения стабилизации (○) и со стабилизацией посредством подачи корректирующего напряжения с помощью операционного усилителя (×). Графики (+) и (●) иллюстрируют стабилизацию с помощью термосопротивления.

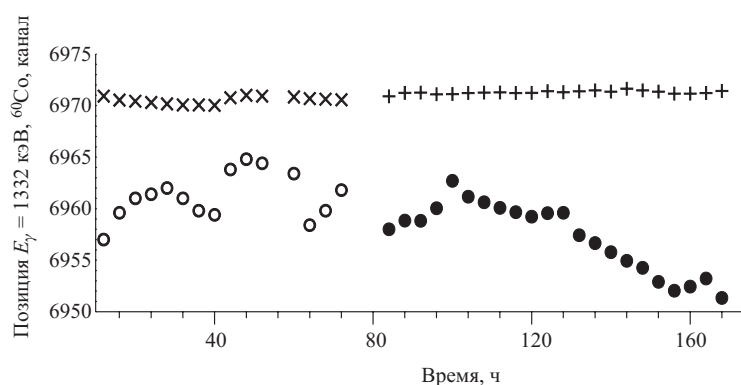


Рис. 1. Флюктуации положения фотопика  $E_\gamma = 1332$  кэВ  $^{60}\text{Co}$  без стабилизации (○) и со стабилизацией (×) с использованием операционного усилителя; без стабилизации (●) и со стабилизацией (+) с использованием термосопротивления

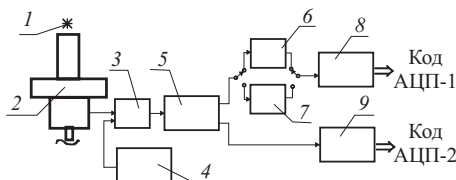


Рис. 2. Блок-схема проведения сравнительных испытаний стабилизаторов спектра: 1 — источник ядерного излучения; 2 — детектор; 3 — предусилитель; 4 — тест-генератор; 5 — линейный усилитель с двумя выходами: один с выходным сопротивлением 93 Ом, другой с выходным сопротивлением 1 Ом; 6 — стабилизатор на базе операционного усилителя; 7 — стабилизатор на основе термосопротивления; 8 — АЦП-1, обеспеченный стабилизацией; 9 — АЦП-2 без стабилизации

На рис. 2 приведена блок-схема для проведения сравнительных испытаний стабилизаторов спектров гамма-спектрометра типовой экспериментальной установки. Сигналы с выхода линейного усилителя (ЛУ) типа ORTEC-572 [14] с выходным сопротивлением 93 Ом подаются через стабилизатор на

АЦП-1. Сигналы с выхода ЛУ с выходным сопротивлением 1 Ом – на АЦП-2. Спектры с АЦП-2 измерялись без стабилизации, т. е. соответствовали реальной ситуации при проведении экспериментов.

В установке использовались блоки спектрометрической аппаратуры достаточно высокого по стабильности качества производства фирмы ORTEC [14] и АЦП фирмы SCHLUMBERGER [15] и ОИЯИ [13]. Никаких специальных мер по термостатированию измерительной аппаратуры не предпринималось. По нашему мнению, основной вклад в нестабильность вносят как активные, так и пассивные элементы первых каскадов усиления предусилителя и линейного усилителя.

### 1. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

На рис. 3 представлена блок-схема стабилизаторов спектров, включающая дешифратор команд КАМАК, два R-S-триггера.

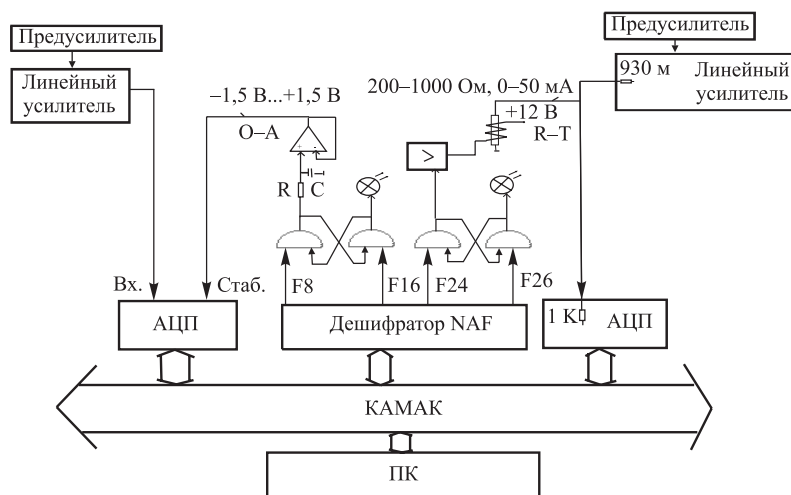


Рис. 3. Блок-схема стабилизаторов спектров

Левая часть схемы обеспечивает подачу корректирующего напряжения для стабилизации коэффициента преобразования АЦП типа КА-007 [13] с помощью R-C-цепочки с постоянной времени интегрирования примерно несколько секунд и операционного усилителя с глубокой обратной связью. На рис. 4 приведена принципиальная схема стабилизаторов. Включение-выключение стабилизатора осуществляется переключателем S2 (рис. 4). В выключенном состоянии на вход разрядного устройства АЦП подается напряжение стабилизации, равное 0 В. Этот режим используется для предварительного

накопления спектра с целью выбора реперного пика, определения его позиции ( $Ch_{ном}$ ) и области допустимых значений ( $Ch_{min}$ ,  $Ch_{max}$ ) реперного пика, подлежащих анализу. При включении стабилизации (с помощью переключателя S2) на вход разрядного устройства с выхода ОУ подается корректирующее напряжение в диапазоне от  $-1,5$  до  $+1,5$  В, создаваемое посредством входной интегрирующей R-С-цепочки (1 МОм, 100 мкФ). В установившемся динамическом режиме это напряжение  $\approx 0$  В.

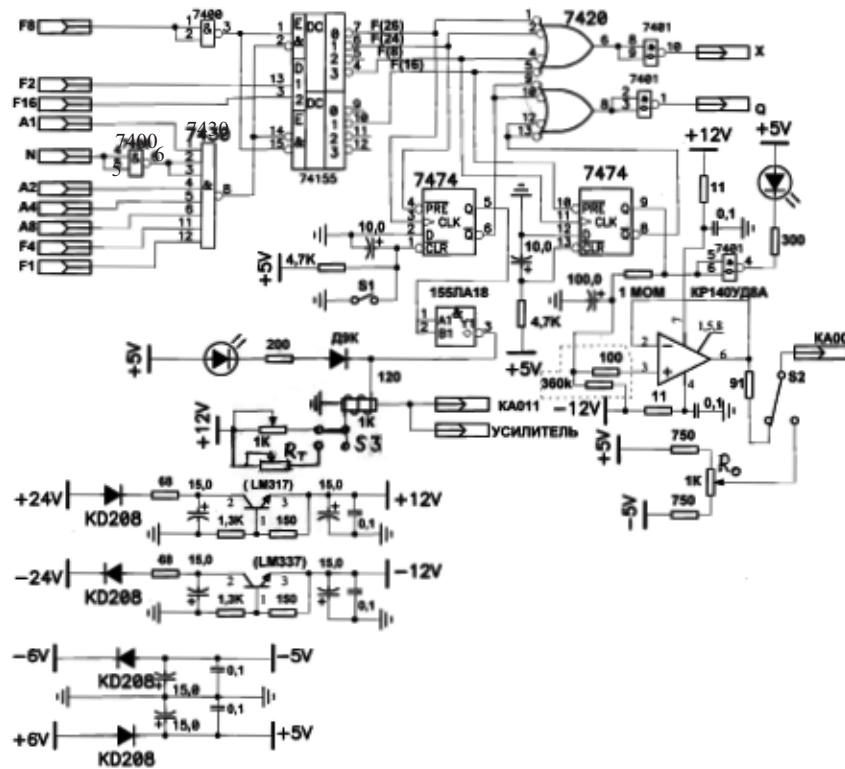


Рис. 4. Принципиальная схема стабилизаторов спектров

Правая часть схемы предназначена для стабилизации спектров, измеряемых АЦП любого типа. Изменение коэффициента усиления тракта осуществляется изменением величины термосопротивления с постоянной времени несколько секунд путем включения или выключения тока в обмотке подогрева. В выключенном состоянии (с помощью переключателя S3 и сопротивления  $R_T$  (рис. 4)) в обмотку подогрева термосопротивления подается ток, равный 25 мА, что обеспечивает возможность предварительного накопления

спектра с целью выбора реперного пика, определения его позиции ( $Ch_{nom}$ ) и области допустимых значений ( $Ch_{min}$ ,  $Ch_{max}$ ) реперного пика, подлежащих анализу. При переключении S3 в режим стабилизации ток в обмотке подогрева может изменяться от 0 до 50 мА, при этом величина термосопротивления изменяется от 1000 до 200 Ом. Термосопротивление может включаться в электрическую цепь ЛУ–АЦП, как, например, показано на рис. 3. При этом используется выход линейного усилителя с выходным сопротивлением, равным 93 Ом. Блок выполнен в виде модуля КАМАК одинарной ширины.

## 2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Предполагается, что в текст программы накопления спектров и в меню эксперимента дополнительно вводятся данные о границах области, ответственной за положение импульсов, выбранных в качестве реперных, желательного в конечной части спектра ( $Ch_{min}$ ,  $Ch_{max}$ ), а также номинальный номер канала реперного пика ( $Ch_{nom}$ ). В случае принадлежности исследуемых импульсов к заданной области проводится их идентификация по принципу «больше-меньше» с выдачей команд КАМАК для соответствующей коррекции коэффициента усиления спектрометрического тракта. На рис. 5 представлена блок-схема программы применительно к режиму термостабилизации.

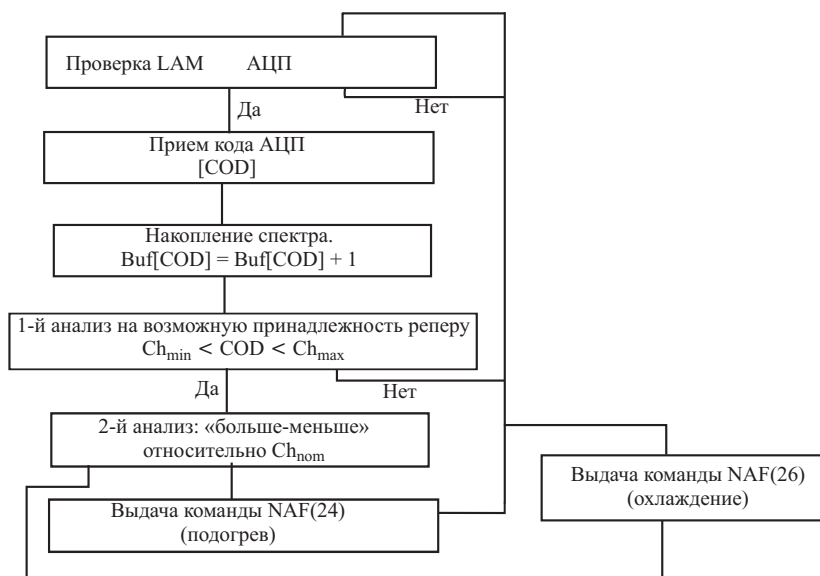


Рис. 5. Блок-схема программы стабилизаторов спектров

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Нам представлялось интересным получить некоторые дополнительные результаты сравнительных испытаний стабилизаторов спектров. С учетом схожести результатов измерений спектров с использованием как стабилизаторов (рис. 1) на основе операционного усилителя ( $\circ$ ), так и стабилизаторов с термосопротивлением ( $\bullet$ ) испытания проводились со стабилизатором на основе термосопротивления как универсального с точки зрения его применимости к АЦП любого типа. На рис. 6 представлены временные флюктуации пиков, используемых в качестве реперных для стабилизации спектрометра, и контрольных пиков, взятых из спектров со стабилизацией и без нее. Каждое измерение проводилось около суток, на протяжении примерно 1 недели.

- **График А.** В качестве реперного пика стабилизации использовались импульсы тест-генератора. Интенсивность равна 50 имп./с. В качестве контрольных измерений приводятся временные распределения пиков тест-генератора в трактах с АЦП-1 (со стабилизацией ( $\times$ )) и с АЦП-2 (без стабилизации ( $\bullet$ )).
- **График Б.** В качестве реперного пика стабилизации использовались импульсы тест-генератора. Интенсивность равна 50 имп./с. В качестве контрольных измерений приводятся временные распределения фотопиков  $E_\gamma = 1770$  кэВ радиоактивного источника  $^{207}\text{Bi}$  в трактах с АЦП-1 (со стабилизацией ( $\circ$ )) и с АЦП-2 (без стабилизации ( $\nabla$ )). Примечательны последствия плановой заливки азота в 13 ч.
- **График В.** В качестве реперного пика стабилизации использовались импульсы фотопика  $E_\gamma = 1063$  кэВ радиоактивного источника  $^{207}\text{Bi}$ . Интенсивность составляла  $\sim 30$  имп./с. В качестве контрольных измерений приводятся временные распределения фотопиков  $E_\gamma = 1770$  кэВ радиоактивного источника  $^{207}\text{Bi}$  в трактах с АЦП-1 (со стабилизацией ( $\circ$ )) и с АЦП-2 (без стабилизации ( $\nabla$ )).
- **График Г.** В качестве реперного пика стабилизации использовались импульсы фотопика  $E_\gamma = 1770$  кэВ радиоактивного источника  $^{207}\text{Bi}$ . Интенсивность составляла  $\sim 1$  имп./с. В качестве контрольных измерений приводятся временные распределения фотопиков  $E_\gamma = 1770$  кэВ радиоактивного источника  $^{207}\text{Bi}$  в трактах с АЦП-1 (со стабилизацией ( $\circ$ )) и с АЦП-2 (без стабилизации ( $\nabla$ )).



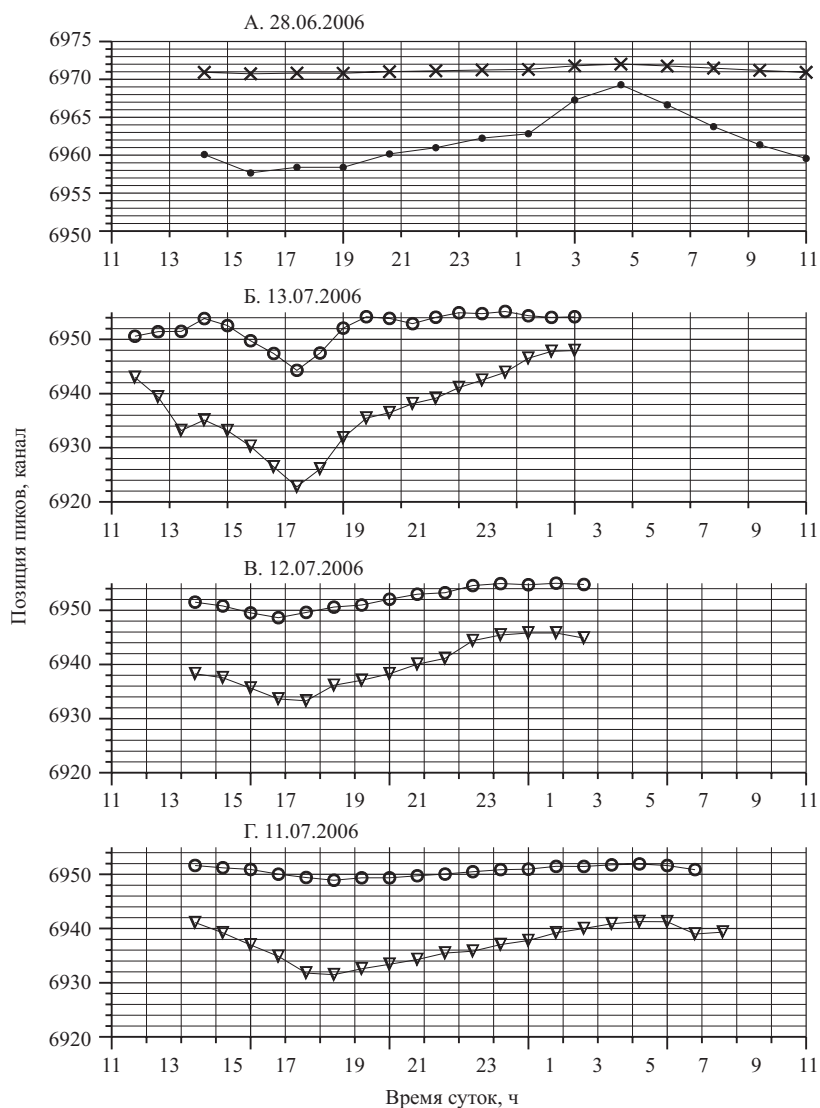


Рис. 6. Суточные флюктуации позиций пиков спектров

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Нельзя не обратить внимание на суточные флюктуации пиков спектров в интервалах 15–19 и 0–7 ч, связанные, по всей видимости, с изменениями распорядка работы в измерительном помещении. Из различных вариантов выбора реперных пиков (тест-генератор, фотопики источников излучений) наиболее

перспективным представляется ориентация на пики спектров излучений с энергией в конечной области измеряемых спектров, как в эксперименте «Г» (рис. 6), в котором в качестве репера выбран фотопик  $E_{\gamma} = 1770$  кэВ  $^{207}\text{Bi}$ . Следует отметить, что интенсивность реперного пика  $\sim 1$  имп./с при общей нагрузке  $6 \cdot 10^3$  имп./с достаточна для обеспечения работы стабилизатора.

## **5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗРЕШЕНИЯ СПЕКТРОВ ПОСРЕДСТВОМ КОРРЕКЦИИ НА НЕСТАБИЛЬНОСТЬ АППАРАТУРЫ**

Энергетическое разрешение спектров может быть улучшено математической обработкой, учитывающей состояние нестабильности аппаратуры на всем протяжении измерений [12, 16]. Организация таких экспериментов предполагает обязательное наличие промежуточных сканирований информации.

Для большей наглядности эффективности процедуры преобразований на рис. 7 приведены результаты начального (с момента включения аппаратуры) этапа измерений фона в течение первых 20 ч с почасовой записью спектров. (Как правило, измерения с подобной нестабильностью исключаются из последующего анализа.) Для каждого из 20 спектров вычислялись энергетические калибровочные кривые, в нашем случае описываемые полиномом 1-й степени. На рис. 7, *а* показано изменение положения пика с энергией 2614,5 кэВ, связанное с нестабильностью аппаратуры. На рис. 7, *б* показан участок спектра в диапазоне 2050–2650 кэВ, полученный суммированием всех экспериментальных спектров. На рис. 7, *в* приведен тот же участок спектра, полученный суммированием 20 спектров, предварительно скорректированных и приведенных к единой энергетической калибровке, выбранной для 18-го спектра. Разрешение на пике  $E_{\gamma} = 2614,5$  кэВ в спектре на 18 ч измерений составляет 3,44(6) кэВ. Разрешение на этом же пике в суммарном спектре (рис. 7, *б*) 8,5(1) кэВ и в суммарном скорректированном спектре (рис. 7, *в*) 3,82(8) кэВ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Как уже отмечалось, нами использовались блоки спектрометрической аппаратуры высокого качества с точки зрения временной стабильности. Тем не менее в реальных условиях измерений мы были вынуждены иногда принимать дополнительные меры повышения стабильности аналоговой аппаратуры.

Предлагаемые нами решения могут оказаться полезными при проведении долговременных и многократно повторяемых экспериментов. В более широком плане стабилизаторы могут рассматриваться как основной компонент в

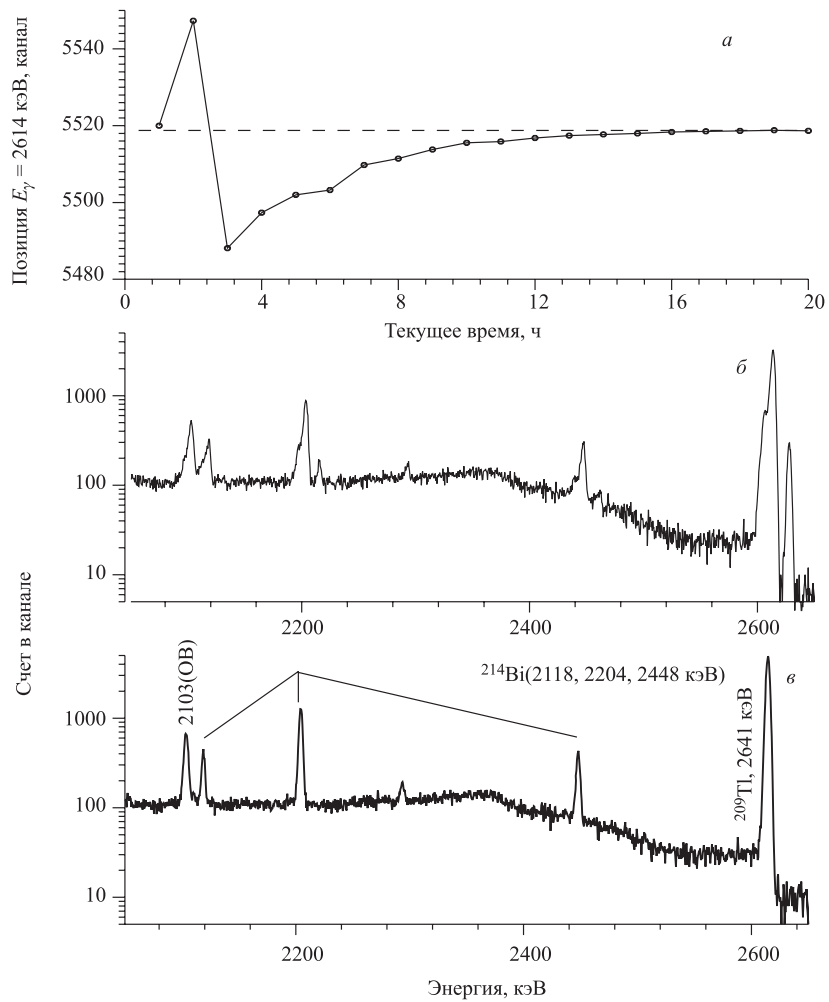


Рис. 7. Восстановление энергетического разрешения спектров посредством коррекции на нестабильность аппаратуры

системе автоматического регулирования в измерительных и исполнительных процессах.

Авторы благодарят К. Я. Громова, В. Б. Бруданина, Н. И. Журавлева за внимание и поддержку при выполнении данной работы. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-02-17144).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Фоминых В. И. и др.* // ПТЭ. 1995. № 5. С. 19.
2. *Kalinnikov V. G. et al.* // NIM B. 1992. V. 70. P. 62.
3. Proc. of the International Conference on Modern Trends in Activation Analysis, Texas, December, 15–16, 1961.
4. *Covell D. F.* // NIM. 1963. V. 22. P. 101.
5. *Громов К. Я. и др.* // Препринт ОИЯИ 2724. Дубна, 1966.
6. *Васильев С. К. и др.* // Тез. докл. 37-го совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Юрмала, 1987. Л.: Наука, 1987. С. 255.
7. *Вывлов Ц.* // ЭЧАЯ. 1978. Т. 9, вып. 6. С. 1350.
8. *Brudanin V. et al.* Rapport d'Activite CSNS-Orsay (1992–1994). P. 51.
9. *Briancon Ch. et al.* // Yad. Fiz. 1998. V. 61, No. 1. P. 75.
10. *Егоров В. Г.* // Тез. докл. 50-го Международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, СПб., 2000. С. 182.
11. Canberra Industries, Inc., Edition Nine, Instruments, Catalog. P. 147, 149.
12. *Egorov V. et al.* // Nucl. Phys. A. 1997. V. 621. P. 745.
13. *Антохов В. А. и др.* Сообщение ОИЯИ 10-80-650. Дубна, 1980.
14. EG & G, ORTEC-95. Modular Pulse-Processing Electronics and Semiconductor Radiation Detectors, Catalog, USA, 1995.
15. Entertec Schlumberger. 8192 Channels ADC type 7157. France.
16. *Коротких В. Л. и др.* // ПТЭ. 1994. № 6. С. 88.

Получено 1 марта 2007 г.

Редактор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 24.05.2007.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 1,02. Тираж 305 экз. Заказ № 55781.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)