

P10-2007-94

Н. А. Гундорин, Н. Д. Дикусар, Н. Г. Мазный\*,  
Л. Б. Пикельнер, И. М. Саламатин, М. И. Цулаиа

**ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ СПЕКТРОВ В ПРЕЦИЗИОННЫХ  
ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

Направлено в оргкомитет 57-й международной конференции  
«Ядро-2007», Воронеж, 25–29 июня 2007 г.

---

\*НПЦ «Аспект»; E-mail: [nikitos@dubna.aspect.ru](mailto:nikitos@dubna.aspect.ru)

Гундорин Н. А. и др.

P10-2007-94

Экспресс-анализ спектров в прецизионных экспериментах

В некоторых прецизионных экспериментах (исследование свойств поляризованных частиц и мишеней, эффектов несохранения четности и др.) время измерения составляет десятки часов, при этом существенную роль приобретает учет возможного дрейфа во времени параметров регистрирующей системы. С целью раннего обнаружения существенных искажений регистрируемых спектров, их фильтрации и исследования способов коррекции результатов разработана программа экспресс-анализа данных.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2007

Gundorin N. A. et al.

P10-2007-94

An Express-Analysis of Spectra in Precision Experiments

Some precision experiments, such as research of polarized particles and targets, parity violations, etc., use tens hours for measurements. In this case, significant importance is drawn to an account of possible drift of registering system parameters in time. The aim of early detection of significant distortions in registered spectra, of their filtration and correction of results has been addressed to in development of the data express-analysis program.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

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

## ВВЕДЕНИЕ

В некоторых прецизионных экспериментах (исследование свойств поляризованных частиц и мишеней, эффектов несохранения четности и др.) время измерения составляет десятки часов, при этом существенную роль приобретает учет возможного дрейфа во времени параметров регистрирующей системы. С целью раннего обнаружения существенных искажений регистрируемых спектров и фильтрации сомнительных данных разработан алгоритм экспресс-анализа данных. На основе этого алгоритма написаны программы, работающие в системах автоматизированного управления (САУ) в режиме on-line, и программа анализа спектров в режиме off-line.

### 1. АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА

В спектроскопии типичной практикой, используемой для получения данных с нужной статистической точностью, является повторение измерений одного типа (обычно равной продолжительности) с последующим их контролем, фильтрацией и суммированием достоверных данных. В случае поиска проявления нужного эффекта при изменении условий регистрации данных такая процедура дополняется чередованием условий, и возникают два (или более) списка чередующихся измерений, подлежащих контролю и суммированию данных по соответствующим спискам.

Для выполнения контроля на оси номеров каналов спектра выбираются интервалы (произвольное количество). Для каждого спектра, полученного в очередном  $i$ -м измерении, вычисляется сумма  $S_{i,j}$  отсчетов в каналах, принадлежащих  $j$ -му интервалу. Вычисляются отношения

$$L_t = m^* S_{i,j} / S_{0,j}, \quad S_t = m^* S_{i,j} / S_{i-1,j}, \quad M = m^* J^* S_{i,j} / S_{s,j}.$$

Здесь  $S_{s,j}$  — сумма спектров, полученных в  $J$  измерениях,  $m$  — нормировочный коэффициент. Отношение  $L_t$  характеризует «долговременную» стабильность условий измерения,  $S_t$  — «кратковременную»,  $M$  характеризует совместимость данного измерения с суммарным спектром. Вычисления выполняются для всех заданных интервалов.

Данный алгоритм используется в автоматически работающем программном модуле, который может быть включен в САУ и работать в режиме on-line. В случае, когда величина

$$|L_t - L_{t-1}| \text{ или } |S_t - S_{t-1}| > k^* \sigma,$$

где  $\sigma$  — стандартная ошибка,  $k$  — задается пользователем, вырабатывается предупреждающий сигнал (событие). По этому сигналу организуется обратная связь с подсистемой регистрации данных. Типичная предусмотренная реакция на данное событие — изменение каталога для сохранения сомнительных данных и выдача предупреждающего сообщения без остановки работы САУ.

Данный простой алгоритм позволяет для последовательных серий измерений обнаружить изменения эффективности детектора, уровня фона, цены деления шкалы энергии, выход контролируемых параметров за границы допустимых значений и другие эффекты.

Модуль выполнен в загружаемом (.exe) формате и предназначен для использования в подсистеме обработки данных [1]. Любая САУ может использовать его как сервер с номером порта 4000. Обмен параметрами (значение  $k$ , список интервалов, название файла) и получение результата контроля выполняются по протоколу ТСР/Р. В процессе работы модулем формируется протокол контроля с данными для каждого файла.

## 2. ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДИАЛогоВОЙ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ

После завершения эксперимента, в случае наличия предупреждений модуля экспресс-анализа, возникает необходимость более тщательного анализа данных. Необходимость дополнительного анализа достоверности данных может появиться и в связи с вопросами, возникшими после углубленной математической обработки данных. Для детального анализа причины предупреждающего сообщения, выработанного модулем экспресс-анализа, и исследования способов коррекции зарегистрированных результатов разработана специальная программа **ЕА**, которая позволяет в режиме off-line повторить анализ при других параметрах контроля. В данном разделе описывается эта программа.

На рис. 1 представлен интерфейс пользователя программы **ЕА**, позволяющий выполнить анализ одного или двух (ассоциированных) списков файлов данных.

Представленный интерфейс позволяет задать интервалы контроля и предельно допустимую погрешность отношений  $k$ . Результаты контроля представляются в различных форматах, для каждого файла — отдельная строка. Программа позволяет манипулировать файлами отдельных измерений, суммами,

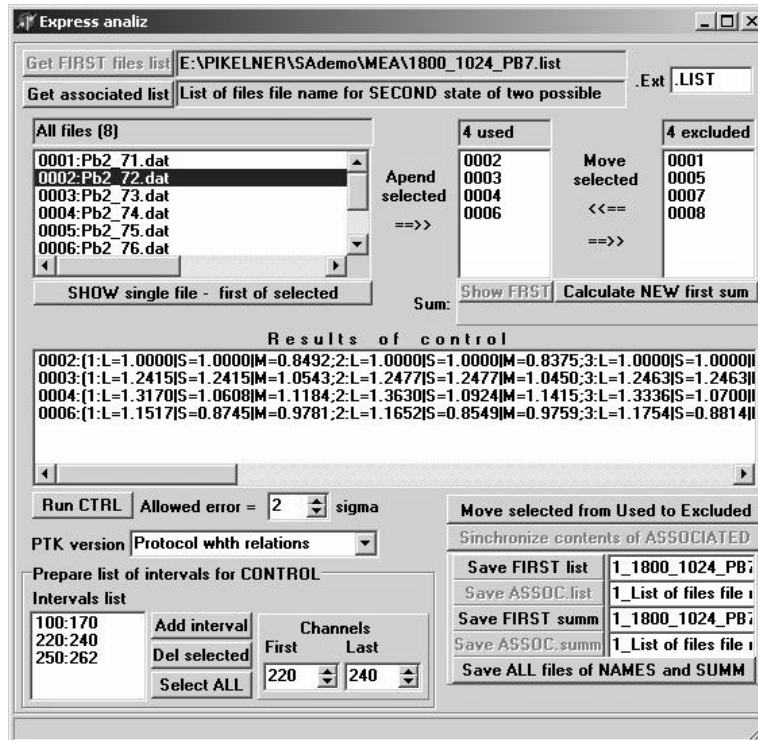


Рис. 1. Интерфейс пользователя программы EA

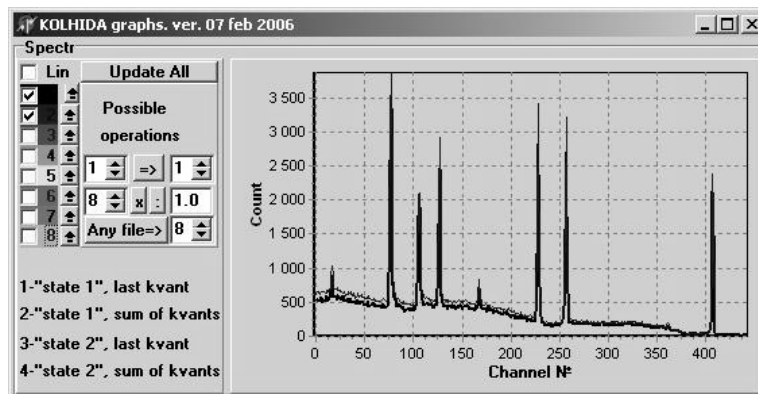


Рис. 2. Окно визуализации графиков программы EA

редактировать (синхронизировать) содержание ассоциированного списка файлов, представлять для визуального контроля различные сочетания файлов.

Окно программы визуализации представлено на рис. 2. В левой части окна помещены управляющие элементы, которые позволяют быстро скомпоновать в поле графика нужный состав спектров для визуального контроля, выполнить над ними арифметические операции и операции масштабирования.

Помимо операций контроля стабильности условий регистрации в программу **ЕА** включена возможность выполнения над спектрами арифметических операций и операции сглаживания.

### 3. АЛГОРИТМ СГЛАЖИВАНИЯ

Для обработки данных используется алгоритм локально-оптимального сглаживания и аппроксимации кусочно-кубическими сегментами ( $S_k$ ) с автоматическим выбором узлов [2]. В этом алгоритме число внутренних

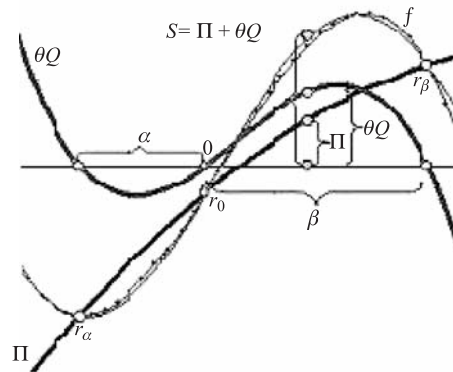


Рис. 3.

узлов и их расположение на подынтервалах определяются в режиме автоматического слежения на основе МНК-оценки параметров модели и постоянства третьей производной кубического сегмента ( $S_k^{(3)} = \text{const}$ ).  
 Модель  $S(\tau; \mathbf{r}, \alpha, \beta, \theta)$  кубического сегмента получена путем параметризации уравнения  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$  тремя фиксированными параметрами (реперными точками на кривой  $f$  ( $\mathbf{r} = [r_\alpha, r_\beta, r_0]^T$ ,  $r_* = f_*$ )), одним свободным параметром ( $\theta = S^{(3)}/6$ ,  $\theta \equiv a_3$ ) и двумя управляющими непрерывными параметрами ( $\alpha, \beta$ ) (рис. 3). Значение текущей точки  $S(\tau)$  выражается суммой двух парабол — квадратичной, проходящей через реперные точки ( $\Pi(\tau) = (\mathbf{r}, \mathbf{d})$ ) и кубической —  $Q(\tau) = \tau(\tau - \alpha)(\tau - \beta)$  в виде  $S = \Pi + \theta Q$ , где  $\theta$  — неизвестный свободный параметр. Весовые или базисные функции  $\mathbf{d} = [d_1, d_2, d_3]^T$  определяются по абсциссам четырех точек — трех реперных и одной текущей — и представляют собой квадратичные параболы относительно  $\tau$  и дробно-рациональные функции относительно  $\alpha$  и  $\beta$ . Используя критерий МНК и линейную зависимость по параметру  $\theta$ , опти-

мальную оценку  $\theta$  можно вычислять по рекуррентной формуле:

$$\theta_n = \theta_{n-1} + K_n [\tilde{f}_n - \tilde{\Pi}_n - \theta_{n-1} Q_n], \quad \theta_0 = 0, \quad n = 1, 2, \dots,$$

где  $K_n(\tau_n, \alpha, \beta_n) = Q_n / \sum_{k=1}^n Q_k^2$  — коэффициент усиления, а  $\tilde{f}_n = f_n + e_n$ ,  $e_n \sim N(0, \sigma^2)$  — ошибка.

Так как скорость убывания коэффициента  $K_n$  составляет порядок, близкий к  $O(n^{-3})$  (рис. 4, логарифмическая шкала по обеим осям), то процедура вычисления оценки  $\theta$  устойчива к ошибкам  $e_n$ . Это позволяет осуществлять слежение в динамическом режиме и тем самым находить узлы подынтервалов, на которых кривая приближается кубическими сегментами. Хотя условия гладкости по производным в узлах снимаются, этот недостаток легко устраняется стандартной процедурой построения кубического сплайна на основе найденных при таком слежении узлов.

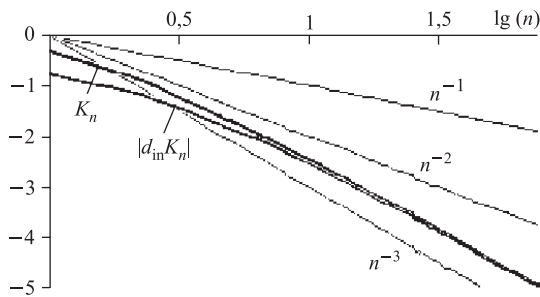


Рис. 4.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программы разработаны для использования в системе управления и обработки данных спектрометров КОЛХИДА, СОСОС. Отдельные алгоритмы контроля использовались в других экспериментах с 1980 г. [3–5].

Модуль автоматического контроля данных используется также в задачах мониторинга (например, в системах радиационного контроля) для обнаружения выхода контролируемых параметров за границы допустимых значений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Астахова Н. В. и др. // ПТЭ. 2005. №5. С. 36.
2. Дикусар Н. Д., Торок Ч. // Математическое моделирование 18, №3, 23 (2006).
3. Вагов В. В. и др. Сообщение ОИЯИ Р14-83-898. Дубна, 1983.
4. Балуха Г. и др. // XXII Международный симпозиум по ядерной электронике, Дубна, 2–6 июля 1985 г.: Труды. Дубна, 1985. С. 428.
5. Ляпин Д. И. и др. Сообщение ОИЯИ Р3-89-408. Дубна, 1989.

Получено 26 июня 2007 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 12.10.2007.

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

Усл. печ. л. 0,50. Уч.-изд. л. 0,59. Тираж 295 экз. Заказ № 55921.

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/)