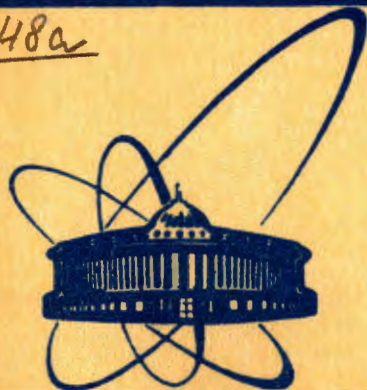


84-73

С348а



**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

2136/84

P13-84-73

Ю.Н.Пепельшев, А.Д.Рогов

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ИБР-2  
(Методика обработки)**

**1984**

В настоящее время спектральный анализ как одна из составляющих статистической обработки временных рядов широко используется в различных областях науки и техники, в том числе при изучении сложных ядерно-физических установок, например, при изучении статистических характеристик ядерных реакторов ВВР-М<sup>1/1</sup> и ИБР-2<sup>2/2</sup>. Однако методическая сторона применения теории спектрального анализа к обработке конкретных временных рядов имеет некоторый произвол, и различный методический подход может привести к существенно отличающимся результатам<sup>3/3</sup>. Кроме того, конкретный вид временного ряда во многом определяет методику обработки и алгоритм оптимизации некоторых характеристик получаемых оценок /например, обратно зависящих друг от друга точности и разрешающей способности спектральной оценки/. В настоящей работе приводится один из вариантов методики статистической обработки стационарного двухкомпонентного дискретного временного ряда, в спектральной характеристике которого могут присутствовать как стохастические, так и детерминированные составляющие. Описываемая методика была предназначена для исследования статистических характеристик реактора ИБР-2, но может быть использована и для других задач.

## 1. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА

Для каждой компоненты временного ряда  $X(t)$  и  $Y(t)$  проводится предварительная обработка: исключение неправдоподобных значений /аппаратурных выбросов/; удаление полиномиального тренда и центрирование.

При несоблюдении условий стационарности в широком смысле временной ряд приводится к стационарному с потерей части информации в низкочастотной области спектра. Затем вычисляются следующие характеристики:

1. Первые четыре центральных момента /среднее значение, дисперсия, коэффициент асимметрии и эксцесс/.
2. Плотности распределений  $P(X_n)$ ,  $P(\Delta X_n)$   $\Delta X_n = X_{n+1} - X_n$ .
3. Автоспектр /плотность спектра мощности/  $S_{XX}(\omega)$ , где  $\omega$  - циклическая частота.
4. Плотность кросс-спектра /взаимная плотность мощности/  $S_{XY}(\omega)$ .
5. Вариация /автовариационная функция/  $R_{XX}(\tau) = \text{var}(X, X)$ , где  $\tau$  - временной сдвиг.



6. Ковариация /взаимная вариационная функция/  $R_{XY}(\tau) = \text{cov}(X, Y)$ .

7. Относительный фазовый сдвиг  $\phi_{XY}(\omega)$ .

8. Функция когерентности  $\gamma_{XY}^2(\omega) = \frac{|S_{XY}(\omega)|^2}{S_{XX}(\omega) \cdot S_{YY}(\omega)}$ .

Дополнительно могут вычисляться:

- передаточная функция  $H_{XY}(\omega) = S_{XY}(\omega) / S_{XX}(\omega)$ .

- цифровая фильтрация исходного ряда, а также может проводиться демодуляция компоненты временного ряда определенной частоты.

Ниже дается описание некоторых методических особенностей получения основных статистических оценок временного ряда.

## 2. МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК

В результате эксперимента в памяти ЭВМ формируется конечный дискретный временной ряд /4/:

$$X(n\Delta t) = X^*(n\Delta t) \cdot f_T(n\Delta t), \quad /1/$$

где  $n=0, \dots, N-1$ ,  $N$  - длина ряда /число последовательных эквидистантных отсчетов/,  $\Delta t$  - период между отсчетами,  $X^*(n\Delta t)$  - бесконечный временной ряд, соответствующий реальному физическому процессу,  $f_T(n\Delta t)$  - прямоугольное весовое окно данных. Для компоненты ряда  $Y(n\Delta t)$  рассмотрение аналогично /1/.

Непосредственный переход от временных соотношений, определяемых выражением /1/, к частотным:

$$F_X(K\Delta\omega) = F_X^*(K\Delta\omega) * F_{f_T}(K\Delta\omega), \quad \Delta\omega = 2\pi/N, \quad -\infty < K < \infty, \quad /2/$$

$F$  - оператор Фурье-преобразования, приводящий, как это видно из /2/, к искаженному представлению спектральной оценки, в которой компоненты временного ряда с частотой, не кратной величине  $1/N$ , оказываются "размытыми" по всем возможным частотам вычисленного спектра /эффект Гиббса/. Для повышения статистической устойчивости спектральных оценок /авто- и кросс-спектров/ рассматривались следующие методы:

1. Метод корреляционной функции Блэкмена-Тьюки /БТ/ /5/ с усреднением по частоте с весовыми коэффициентами, соответствующими косинусному окну Хэннинга.

2. Метод Фурье-преобразования Кули-Тьюки /КТ/ /метод периодограмм/ /6/:

а/ метод модифицированных периодограмм /ММП/;

б/ метод с использованием оптимального временного окна данных.

Ниже приводится основное содержание каждого метода.

В БТ-методе автоспектр  $\tilde{S}_{XX}$  и кросс-спектр  $\tilde{S}_{XY}$ , определяемые как

$$\tilde{S}_{XX}(f) = \int_{-T/2}^{T/2} R_{XX}(\tau) \cos(2\pi f\tau) d\tau, \quad \tilde{S}_{XY}(f) = \int_{-T/2}^{T/2} R_{XY}(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau,$$

где  $T = N\Delta t$ ,  $f = \omega/2\pi$  - линейная частота,  $\tau$  - временной сдвиг, в дискретном представлении вычисляются в виде

$$\tilde{S}_{XX}\left(\frac{f_C \cdot K}{m}\right) = 2\Delta t \{R_{XX}(0) + 2 \sum_{i=1}^{m-1} R_{XX}(i\Delta t) \cos\left(\frac{\pi K i}{m}\right) + (-1)^K R_{XX}(m\Delta t)\}, \quad /3/$$

где  $f_C = 1/2\Delta t$  - частота Найквиста,  $i\Delta t$  - время запаздывания,  $K = 0, 1, \dots, m$ ,  $m$  - число значений ковариации  $R_{XX}(i\Delta t)$ , в качестве которой используется несмещенная оценка

$$R_{XX}(i\Delta t) = \frac{1}{N-i} \sum_{n=1}^{N-i} (X_n - \bar{X}_n)(X_{n+i} - \bar{X}_{n+i}).$$

Аналогично /3/, вычисляются мнимые и действительные части кросс-спектра  $\tilde{S}_{XY}$ , соответствующего ковариации

$$R_{XY}(i\Delta t) = \frac{1}{N-i} \sum_{n=1}^{N-i} (X_n - \bar{X}_n)(Y_{n+i} - \bar{Y}_{n+i}).$$

Сглаживание предварительных оценок  $\tilde{S}_{XX}$  и  $\tilde{S}_{XY}$  по Хэннингу выполняется в частотной области путем получения взвешенных сумм  $\tilde{S}_{XX}(K)$ :

$$\tilde{S}_{XX}(K) = \begin{cases} A_0 \tilde{S}_{XX}(K-1) + A_1 \tilde{S}_{XX}(K) + A_0 \tilde{S}_{XX}(K+1) & \text{при } K \neq 0, m, \\ A_1 \tilde{S}_{XX}(0) + 2A_0 \tilde{S}_{XX}(1) & \text{при } K = 0, \\ A_1 \tilde{S}_{XX}(m) + 2A_0 \tilde{S}_{XX}(m-1) & \text{при } K = m, \end{cases}$$

$$A_0 = 1/2, \quad A_1 = 1/4.$$

С использованием приведенного выше алгоритма определение ко- и квадратурного спектров, необходимых для расчетов  $\phi(\omega)$  и  $\tilde{S}_{XY}$ , существенно увеличивает машинное время из-за сравнительно низкой вычислительной эффективности данного метода.

Основу метода модифицированных периодограмм /ММП/ составляет усреднение спектральных оценок, получаемых на коротких участках /сегментах/ исходного временного ряда  $X(n\Delta t)$   $n = 0, 1, \dots, N-1$ . Ряд  $X(n\Delta t)$  разбивается на  $L$  участков длиной  $M$   $X_S^{(i)}$ ,  $S=0, M$  /при использовании процедуры быстрого преобразования Фурье /БПФ/ с основанием 2 значение  $M$  кратно 2/. Для каждого  $i$ -го сегмента вычисляется конечное дискретное преобразование Фурье

$$X^{(i)}(\omega_K) = \Delta t \sum_{s=0}^{M-1} X_S^{(i)} e^{-j \frac{2\pi K S}{M}},$$



где  $K = 0, 1 \dots M-1$ ,  $\omega_K = 2\pi K / M\Delta t$ , на основе которого определяют текущие  $i$ -ые периодограммы

$$S_{XX}^{(i)}(\omega_K) = \frac{1}{\Delta t M} [X^{(i)}(\omega_K) X^{(i)*}(\omega_K)] = \frac{1}{\Delta t M} |X^{(i)}(\omega_K)|^2,$$

$$S_{XY}^{(i)}(\omega_K) = \frac{1}{\Delta t M} [X^{(i)*}(\omega_K) \cdot Y^{(i)}(\omega_K)],$$

$$|X^{(i)}(\omega_K)|^2 = \text{Re}^2[X^{(i)}(\omega_K)] + \text{Im}^2[X^{(i)}(\omega_K)],$$

Окончательной оценкой авто-  $\bar{S}_{XX}$  - и кросс-спектров  $\bar{S}_{XY}$  являются оценки усредненных периодограмм  $\tilde{S}_{XX}, \tilde{S}_{XY}$

$$\bar{S}_{XX}(\omega_K) = \tilde{S}_{XX}(\omega_K) = \frac{\Delta t}{L \cdot M} \sum_{i=1}^L |X^{(i)}(\omega_K)|^2,$$

$$\bar{S}_{XY}(\omega_K) = \frac{\Delta t}{L \cdot M} \sum_{i=1}^L X^{(i)*}(\omega_K) \cdot Y^{(i)}(\omega_K),$$

$$\bar{S}_{XY}(\omega_K) = \{\text{Re}^2[\tilde{S}_{XY}(\omega_K)] + \text{Im}^2[\tilde{S}_{XY}(\omega_K)]\}^{1/2}.$$

Оценки фазового спектра  $\phi_{XY}(\omega_K)$  и функция когерентности  $\gamma^2(\omega_K)$  задаются в виде:

$$\phi_{XY}(\omega_K) = \arctg \frac{\text{Im}[\tilde{S}_{XY}]}{\text{Re}[\tilde{S}_{XY}]}, \quad \gamma^2(\omega_K) = \frac{\bar{S}_{XY}^2(\omega_K)}{\bar{S}_{XX}(\omega_K) \cdot \bar{S}_{YY}(\omega_K)},$$

а вариация  $R_{XX}$  и ковариация  $R_{XY}$  вычисляются из обратного дискретного преобразования Фурье:

$$R_{XX}(\tau_K) = F^{-1}[\bar{S}_{XX}(\omega_K)] = \frac{1}{M\Delta t} \sum_{i=0}^{M-1} S_{XX}(\omega_i) \exp\left(\frac{j2\pi i K}{M}\right),$$

$$R_{XY}(\tau_K) = F^{-1}[\bar{S}_{XY}(\omega_K)] = \frac{1}{M\Delta t} \sum_{i=0}^{M-1} \tilde{S}_{XY}(\omega_i) \exp\left(\frac{-j2\pi i K}{M}\right),$$

$$\tau_K = \Delta t \cdot K, \quad K = 0, M/2.$$

ММП позволяет в  $\sqrt{L}$  уменьшить стандартную ошибку спектральных оценок, сохранив при этом высокую разрешающую способность, свойственную отдельной периодограмме, и, кроме того, данный метод позволяет существенно уменьшить время вычисления, применив алгоритмы БПФ. Третий вариант обработки основан на МП с дополнительным усреднением оценок каждой периодограммы в соответствии с выбранным спектральным окном, что эквивалентно умножению отдельного  $i$ -го сегмента временного ряда на соответствующее

\* - Знак комплексного сопряжения.

временное окно /см. выражение /1//. Поскольку усреднение по отдельным периодограммам /псевдоусреднение по ансамблю/ сохраняет в среднем влияние просачивания спектрального окна, необходимо использовать оптимальное окно /с минимально возможным в его спектре вкладом боковых лепестков/. Однако при этом ухудшается разрешающая способность спектральных оценок. В данной работе использовалось одно из оптимальных окон - окно Кайзера-Бесселя /7/:

$$f_T(n\Delta t) = \frac{I_0\left[\pi a \sqrt{1,0 - \left(\frac{n}{M/2}\right)^2}\right]}{I_0(\pi a)}, \quad 0 \leq |n| \leq M/2,$$

где  $I_0(x) = \sum_{K=0}^{\infty} \left[\frac{\left(\frac{x}{2}\right)^K}{K!}\right]^2$  - модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка,  $a = 3$  /или 2,5/.

Процедура вычисления спектральных оценок с использованием весового окна Кайзера-Бесселя заключается в следующем:

1. Временной ряд  $X(n\Delta t)$ ,  $n = 0, 1, \dots, N-1$  разбивается на  $L$  неперекрывающихся сегментов  $X^{(i)}(K\Delta t)$   $K = 0, 1, \dots, M-1$ ,  $M = N/L = 2^p$ , где  $p$  - целое число, и вычисляются взвешенные последовательности данных

$$X_T^{(i)}(K\Delta t) = X^{(i)}(K\Delta t) \cdot f_T(K\Delta t), \quad 0 \leq |K| \leq M/2,$$

$f_T(K\Delta t)$  - весовое окно данных Кайзера-Бесселя.

2. Определяются первичные спектральные оценки  $S_{XX}^{(i)}$  и  $S_{XY}^{(i)}$  и конечные  $\bar{S}_{XX}, \bar{S}_{XY}$ , аналогично методу МП с применением алгоритма БПФ.

3. Вводится поправочный коэффициент  $P$  для компенсации смещения, вызванного введением весового окна /8/:

$$P = \int_{-1}^1 f_T(t)^4 dt / \left[ \int_{-1}^1 f_T^2(t) dt \right]^2,$$

и вычисляются окончательные спектральные оценки

$$\bar{S}'_{XX}(\omega_K) = \bar{S}_{XX}(\omega_K) \cdot P^{-1}, \quad \bar{S}'_{XY}(\omega_K) = \bar{S}_{XY}(\omega_K) \cdot P^{-1}.$$

4. Далее, аналогично ММП, вычисляются функции:

$$R_{XX}(\tau_K) = \frac{1}{\Delta t M} F^{-1}[\bar{S}'_{XX}(\omega_K)], \quad R_{XY}(\tau_K) = \frac{1}{\Delta t M} F^{-1}[\bar{S}'_{XY}(\omega_K)],$$

$$\phi_{XY}(\omega_K), \quad \gamma^2(\omega_K).$$

Результаты спектрального анализа считаются корректными, если выполняется равенство Парсеваля:



$$\sigma_{XX}^2 = \int_0^{\omega_C} \overline{S_{XX}}' (\omega - \omega_K) \delta(\omega) d\omega,$$

где  $\omega_K = 2\omega_C K/M$ ,  $\sigma_{XX}^2$  - дисперсия после устранения тренда,  $\omega_C = \pi/\Delta t$  - критическая частота Найквиста.

Отклонение от равенства /1/ на величину, большую, чем статистическая ошибка, определяемая  $\sigma_{XX}^2$ , возможно в следующих случаях:

- 1/ временной ряд не является стационарным в широком смысле,
- 2/ некорректно выбран метод спектрального анализа.

В таблице для сравнения приведены некоторые численные характеристики описанных выше методов получения спектральных оценок при длине временного ряда  $8192 \leq N \leq 10240$  /такое значение N использовалось при исследовании реактора ИБР-2/. Выбор того или иного метода в основном определяется требуемыми значениями  $\Delta f/f_g$ ,  $\epsilon$  и  $S_1/S_0$ .

### 3. НЕКОТОРЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В начале обработки проводится фильтрация временного ряда для исключения неправдоподобных значений, вызванных различными сбоями измерительной системы. Наличие  $X_i$  выброса определялось по критерию:

$$|X_i - \bar{X}| / \sigma_{XX} \geq K, \quad (\sigma_L^2 - \sigma_{XX}^2) / \sigma_{XX}^2 \geq m,$$

$L = 1, 16$   $i = \overline{1, N}$ ,  $\sigma_{XX}$  - стандартное отклонение, определенное по всему ряду;  $\sigma_L^2$  - дисперсия, определенная на участке временного ряда /сегменте/ длиной 512. Значения K и m зависят от функции плотности распределения и для исследуемых временных рядов выбирались равными 5. При малом числе выбросов /менее 10/ значение i-го выброса заменялось на  $(X_{i-1} + X_{i+1})/2$ , при большем - временной ряд отбраковывался. Для последовательных блоков временного ряда устраняется линейный тренд. Коэффициенты  $b_k$  оцениваемого значения тренда

$$\tilde{X}^{(i)}(n\Delta t) = \sum_{k=0}^K (n\Delta t)^k \cdot b_k, \quad n = \overline{1, M}, \quad K = 1 \text{ /или } 2/$$

определяются методом наименьших квадратов.

В дальнейшем исследуется центрированный временной ряд:

$$X_T^{(i)}(n\Delta t) = X^{(i)}(n\Delta t) - \tilde{X}^{(i)}(n\Delta t), \quad n = \overline{1, M}.$$

Для выделения низкочастотной или высокочастотной компоненты использовался цифровой оптимальный минимаксный фильтр низкой /высокой/ частоты с линейной фазовой и конечной импульсной ха-

Таблица

Некоторые численные характеристики различных методов получения спектральных оценок, используемых в данной работе

Характеристика временного окна или спектральной оценки	Метод Блэкмена-Тьюки	Метод модифицированных периодограмм	Метод периодограмм с окном Кайзера-Бесселя
Полная длина временного ряда N	10240	8192	8192
Отрезок временного ряда для получения периодограммы M и число разбиений L	-	512x16	512x16
Максимальное число смещений корреляционной функции m	200	256	256
Полоса частот по уровню 6 дБ спектрального окна $\alpha^*$	2,0	1,21	2,39
Амплитуда первого положительного выброса спектральной плотности временного окна относительно амплитуды центрального пика $S_1/S_0$	0,0084	0,0475	$4 \cdot 10^{-7}$
Разрешающая способность $\Delta f/f_g^{**}$	0,01	0,0024	0,0047
Стандартная относительная ошибка для гауссовых случайных процессов $\epsilon$ , %	11	25	18
Метод вычисления	непрерывный	дискретный	

Примечание: \* - значения  $\alpha$  приведены в единицах, равных расстоянию между отсчетами дискретного преобразования Фурье, кратными  $1/M$  ( $1/m$  в методе БТ); \*\* -  $f_g = 1/\Delta t$  частота дискретизации. Численные характеристики временных окон, требуемые для расчета  $\Delta f/f_g$  и  $\epsilon$ , взяты из работы /7/.



раактеристиками, весовые коэффициенты которого определялись с помощью алгоритма Ремеза. Подробная методика расчета указанного фильтра приведена в /9/. Дополнительно, для сравнительных оценок использовался низкочастотный линейный симметричный не-рекурсивный цифровой фильтр с идеальной частотной характеристикой /10/.

При наличии во временном ряду  $X(n\Delta t)$  гармонического сигнала с частотой  $f_0$  иногда необходимо исследовать зависимость его амплитуды  $A_0(n\Delta t)$  и фазы  $\phi_0(n\Delta t)$  во времени. С этой целью использовался метод комплексной демодуляции /5/. Дополнительно формируется комплексный временной ряд  $Z(n\Delta t) = X(n\Delta t) \cdot \exp(j2\pi f_0 n\Delta t)$ , спектральная характеристика которого /фурье-преобразование/  $S_Z(f + f_0) = S_X(f)$ , соответствует  $S_X$ , но сдвинута на частоту  $f_0$ . Этот ряд "пропускается" через фильтр низких частот. Методически процесс демодуляции реализуется следующим образом. Из действительной  $X_1$  и мнимой  $X_2$  части комплексного ряда  $Z$

$$X_1(n\Delta t) = X(n\Delta t) \cdot \cos(2\pi f_0 n\Delta t), \quad X_2(n\Delta t) = X(n\Delta t) \cdot \sin(2\pi f_0 n\Delta t)$$

после свертки с импульсной характеристикой фильтра  $h(n\Delta t)$   $X_1^* = X_1 * h$ ,  $X_2^* = X_2 * h$  выделяются амплитуда  $A_0$  и фаза  $\phi_0$ :

$$A_0(n\Delta t) = \{2 [X_1^{*2}(n\Delta t) + X_2^{*2}(n\Delta t)]\}^{1/2}, \quad \phi_0(n\Delta t) = \arctg \left[ -\frac{X_2^*(n\Delta t)}{X_1^*(n\Delta t)} \right],$$

где  $X_1^*$ ,  $X_2^*$  - временные ряды на выходе фильтра.

#### 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Данные отдельного измерения, представляющие собой конечную последовательность значений двух параллельно измеряемых на малой ЭВМ физических процессов, представлены в виде отдельного файла на магнитной ленте /4/.

Полная обработка временного ряда осуществляется на большой ЭВМ типа CDC-6500 или БЭСМ-6. Основу программы составляет комплекс подпрограмм из ВЦ МГУ /11/. Программа быстрого преобразования Фурье построена по классическому алгоритму Кули-Тьюки. Полное время обработки одного временного ряда длиной 8192 составляет ~2 мин. Программа ориентирована для обработки временных рядов длиной 512 п. Значение  $\nu$  выбирается из условий эксперимента и обычно равно 16. С помощью данной программы были получены основные результаты о статистических характеристиках ИБР-2 при проведении его энергетического пуска.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимо отметить, что основной метод спектрального анализа, используемый в данной работе, метод периодограмм с весовым окном данных, хотя и не является оптимальным с точки зрения получения "наилучших" спектральных оценок, тем не менее оказался достаточно эффективным для обработки временных рядов, измеренных на ИБР-2.

Наиболее существенным обстоятельством, позволившим полностью реализовать возможности данного метода, явились свойства самого временного ряда:

- 1/ "хорошие" условия стационарности,
- 2/ распределение элементов ряда близко к гауссовскому,
- 3/ достаточно большая длина ряда ( $N \approx 10^4$ ),
- 4/ периодические компоненты слабо искажены аддитивным шумом,
- 5/ линейчатая структура спектра, допускающая разрешение отдельных линий с помощью данного метода.

Однако формальное применение указанного метода при неизвестной структуре временного ряда может привести к ошибкам. Так, для временных рядов, измеренных на ИБР-2, свойство п.5 нельзя считать строго обоснованным; возможно наличие близко расположенных частотных пиков, один из которых имеет более слабую интенсивность. Используемый здесь метод обработки при этом приводит к потере некоторой части информации, и следует обратиться к параметрическим методам спектрального анализа, допускающим непрерывное улучшение разрешающей способности вплоть до регистрации  $\delta$ -функций /12/.

Авторы считают своим приятным долгом выразить глубокую благодарность Е.П.Шабалину за постановку задачи и постоянный интерес, проявленный к данной работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гарусов Е.А. и др. Kernenergie, 1982, Bd.26, M.2, s.68.
2. Ломидзе В.Л. и др. ОИЯИ, P13-12195, Дубна, 1979.
3. Кей С.М. ТИИЭР, 1981, 69, №11, с.5.
4. Вагов В.А. и др. ОИЯИ, P13-82-533, Дубна, 1982.
5. Отнес Р., Энноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. "Мир", М., 1982.
6. Cooley J.W., Tukey J.W. Math.Comput., 1965, vol.19, p.297.
7. Харрис Ф.Дж. ТИИЭР, 1978, 66, с.60.
8. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. "Мир", М., 1980.
9. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. "Мир", М., 1978.



10. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. "Мир", М., 1974.
11. Арефьева М.В. В сб.: Численный анализ на фортране. Изд-во МГУ, М., 1976, вып.15,20.
12. Pisarenko V.F. The Geophysical Journal, 1973, 33, p.347.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 февраля 1984 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований



**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д.  
Спектральный анализ статистических параметров  
импульсного реактора ИБР-2 /Методика обработки/

P13-84-73

Рассматривается один из вариантов методики спектрального анализа некоторых параметров реактора ИБР-2 при его энергетическом пуске. Основу программы спектрального анализа составляет фурье-преобразование дискретных временных рядов с использованием двух независимых методов: метода корреляционной функции и метода периодограмм. Отмечается, что для временных рядов, характерных для реактора ИБР-2, метод периодограмм с использованием весового окна данных Кайзера-Бесселя, является наиболее оптимальным. Приводится краткая характеристика подпрограмм, написанных на фортране.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Pepelyshev Yu.N., Rogov A.D.  
Spectral Analysis of Statistical Parameters  
of IBR-2 Pulsed Reactor (Processing Methods)

P13-84-73

A method of spectral analysis of some parameters of IBR-2 reactor at its power start-up is considered. The spectral analysis is based on Fourier transformation of discrete time series with the use of two independent methods: that of correlation function and the method of periodograms. It is noted that for time series, typical for IBR-2 reactor, periodogram method with using of spectral window of Kaiser-Bessel data is the most optimum. Short characteristics of the Fortran subroutines is given.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984