

МЕТОД ВРЕМЕННЫХ ГИСТОГРАММ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕМЕННОСТИ
СЛАБЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

И. Д. Бейтман

УДК 523.84

Предлагается метод анализа временных характеристик слабых источников, основанный на измерениях времени между регистрациями рентгеновских квантов. В качестве иллюстрации приведена временная гистограмма для мягкого рентгеновского излучения ^{50}Co X-I.

Для анализа временных характеристик переменных источников в настоящее время широко используются методы, основанные на функции корреляции, и метод суммирования по модулю T (где T — предполагаемый период). Последний метод эффективен лишь для периодических источников. В этой работе будет описан метод, основанный на статистическом анализе последовательностей $\{I_i\}$, который так же, как и корреляционный метод, применим для непериодических источников, позволяет получить дополнительную информацию по отношению к функции корреляции и значительно проще в программной реализации.

Пусть τ_i — время прихода i -го кванта. Определим функцию $W_k(\tau)$ (временную гистограмму), представляющую собой плотность вероятности следующим образом: $W_k(\tau)d\tau$ есть вероятность того, что за интервал времени τ , отсчитанный от момента прихода очередного импульса, будет зарегистрирован $(k-1)$ квант, а k -тый квант будет зарегистрирован в интервал времени $\tau + \tau + d\tau$. В частности, $W_1(\tau)d\tau$ представляет собой вероятность того, что расстояние между соседними импульсами находится в интервале $\tau + \tau + d\tau$.

Для чисто случайного, пуассоновского процесса со средней интенсивностью \bar{n} квантов в секунду нетрудно получить:

$$W_k(\tau) = \frac{\bar{n}^k e^{-\bar{n}\tau}}{(k-1)!} \quad (I)$$

В общем случае, для переменного источника с интенсивностью $n(\tau)$ имеем:

$$w_k(\tau) = \frac{\int dt n(t)n(t+\tau) \left(\int_t^{t+\tau} n(t') dt' \right)^{k-1} \exp \left[- \int_t^{t+\tau} n(t') dt' \right]}{(k-1)! \int dt n(t)}. \quad (2)$$

Суммирование (2) по всем возможным k дает связь между функциями w_k и функцией корреляции:

$$\sum_{k=1}^{\infty} w_k(\tau) = \frac{\int dt n(t)n(t+\tau)}{\int dt n(t)} = r(\tau). \quad (3)$$

Так как при $\tau \rightarrow 0$ и $k > 1$ $w_k(\tau) \rightarrow 0$, то из (3) следует, что при $\tau \rightarrow 0$ $w_1(\tau)$ пропорциональна функции корреляции. Из (3) также следует строгое неравенство для всех k : $w_1(0) \geq w_k(\tau)$.

Для чисто периодического процесса с периодом T из (2) следует:

$$w_k(\tau) = \frac{\int_0^T dt n(t)n(t+\tau) (mN + \varphi(t))^{k-1} e^{-(mN + \varphi(t))}}{(k-1)! N}, \quad (4)$$

где

$$N = \int_0^T n(t) dt, \quad m = [\tau/T],$$

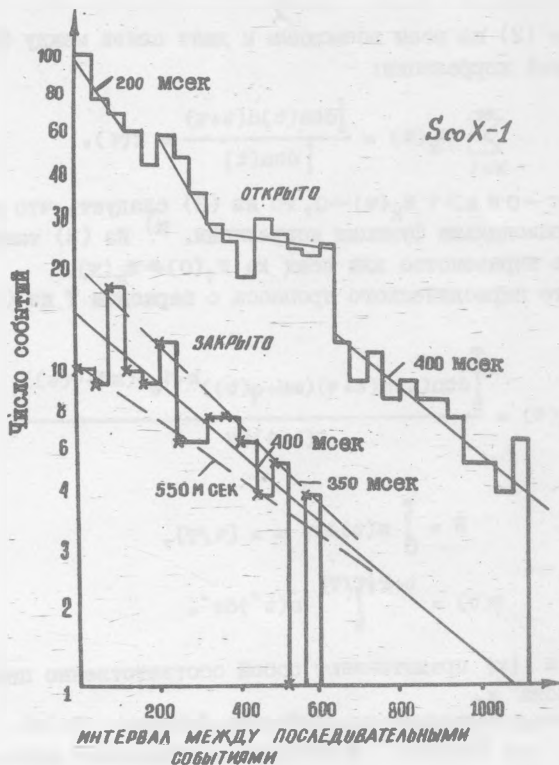
$$\varphi(t) = \tau + T \left\{ \frac{\tau}{T} \right\} \int_t^{t+\tau} n(t') dt'.$$

Функции $\{x\}$ и $[x]$ представляют собой соответственно целую и дробную часть числа x .

Остановимся подробнее на свойствах функции $w_1(\tau)$. Как следует из (1), для обычного источника с постоянной интенсивностью $w_1(\tau)$ представляет собой экспоненту, показатель которой определяется средней скоростью счета. В настоящее время для непериодических переменных источников используются гистограммы интенсивностей - по оси абсцисс откладывается интенсивность (или скорость счета), а по оси ординат число регистраций этой скорости $N(n)$ (см., например, /3/). Для постоянного источника такая гистограм-

*] Подробный анализ поведения функций w_1 и w_2 в окрестности 0 содержится в работе /2/.

ма представляет функцию с очень узким максимумом (ширина максимума определяется статистическим разбросом), а для переменного — характеризует амплитуду переменности. Нетрудно показать, что



Р и с. 1. Временные гистограммы в области 44–60 Å для рентгеновского источника ϵ X-I (откр.) и космического фона (закр.).

Нормировочный множитель не введен

если характерное время изменения $n(t)$ много больше времени между последовательными регистрациями, то функции $w_2(\tau)$ и $N(n)$ связаны между собой преобразованием Лапласа:

$$w_1(\tau) = \frac{\int e^{-n\tau} N(n) dn}{\int N(n) dn} \quad (5)$$

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведена временная гистограмма $W_1(\tau)$ для рентгеновского источника Sc_0 X-I (подробнее см. /4/). В нижней части рисунка представлена временная гистограмма для космического фона, соответствующая, как видно из рисунка, скорости счета $2,5^{+1,3}_{-0,7}$. В верхней части рисунка представлена временная гистограмма для суммы космического фона и полезного сигнала от источника. Из временной диаграммы могут быть выделены участки, соответствующие максимальной (5 имп/сек) и минимальной (2,5 имп/сек) скоростям счета. Относительный вес этих участков (всплесков) составляет примерно 1/3. Вопрос о длительности всплесков и их скважности требует дополнительного анализа. Максимумы в средней части гистограммы, по-видимому, могут быть интерпретированы, как след квазипериодических пульсаций с периодами ~ 200 мсек и $400+600$ мсек.

Разумеется, функции $W_k(\tau)$ не позволяют однозначно восстановить вид функции $n(t)$. В частности, один из возможных путей дальнейшего анализа состоит в конструировании вида функции $n(t)$ (с некоторым числом произвольных параметров) из физических соображений и последующем нахождении этих параметров с помощью процедуры χ^2 . Одновременно такой путь дает оценку статистических ошибок.

Автор признателен Л. А. Вайнштейну и В. Ф. Шварцману за обсуждение работы.

Получена в редакцию
3 июня 1976 г.

Л и т е р а т у р а

1. Д. Кокс, П. Льюис. Статистический анализ последовательностей событий. Мир, М., 1969 г.
2. В. Ф. Шварцман. ИЭТФ, в печати.
3. G. M. Canizares et al. Ap. J. 97, 457 (1975); H. V. Bradt et al. Ap. J. 197, 443 (1975).
4. I. L. Beigman, P. I. Klimuk, A. I. Shurygin, V. I. Sevastyanov, I. P. Tindo, L. A. Vainstein. Preprint FIAN N 61, 1976.