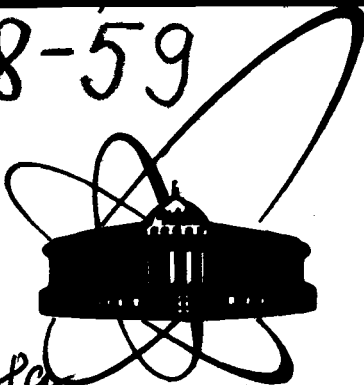


2632/88

88-59



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

13-88-59

**Ю.Н.Пепёлышев**

**ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПАРАМЕТРОВ ШУМОВ МОЩНОСТИ  
И КОЛЕБАНИЙ ПОДВИЖНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ  
РЕАКТОРА ИБР-2**

**1988**

В процессе работы реактора ИБР-2 статистические свойства случайных отклонений основных реакторных параметров от их среднего значения /например, температуры и расхода натрия на выходе из активной зоны или вибрации подвижных отражателей /ПО// со временем изменяются. Это приводит к изменению характеристик реакторного шума. Исследование шумов в зависимости от времени работы реактора имеет большой практический интерес. Это дает сведения о текущем состоянии реактора и может быть использовано для прогнозирования или анализа аномальных /нетипичных/ состояний.

В работе приводятся экспериментальные данные об изменении флуктуаций энергии импульсов мощности и колебаний ПО за весь период работы реактора в режиме 5 1/с на мощности 1-2 МВт /с 1983 по 1986/\*.

## 1. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В качестве исходных оценок, характеризующих статистические свойства шумов мощности и вибраций ПО, использовались стандартные отклонения ( $\sigma$ ), размах ( $\Delta$ ) и спектральная плотность  $S$  колебаний следующих параметров: энергии импульсов мощности ( $Q$ ), осевых отклонений ОПО ( $X_0$ ) и ДПО ( $X_d$ ), а также угла рассинхронизации ОПО и ДПО при вращении ( $\phi$ ). Первичные оценки  $\sigma$ ,  $\Delta$  и  $S$  определялись по 8192-м последовательным значениям каждого из параметров  $X_0$ ,  $X_d$ ,  $\phi$ ,  $Q$ . Частота опроса параметров совпадала с частотой следования импульсов мощности, соответственно время единичного измерения равнялось  $\sim 30$  мин.

Для каждого параметра результаты первичной обработки отдельных измерений ( $\sigma$ ,  $\Delta$ ,  $S$ ) рассматривались в дальнейшем как компоненты двух временных рядов  $Y_1(t)$  и  $Y_2(t)$ . Элементы временного ряда  $Y_1(t)$  представляли собой оценки  $\sigma$  и  $\Delta$ , усредненные за сутки, а элементы временного ряда  $Y_2(t)$  - оценки  $\sigma$  и  $\Delta$ , усредненные в пределах цикла\*\*. Для  $S$ -компо-

\* В указанный период времени основным подвижным отражателем /ОПО/ была лопасть, а дополнительным /ДПО/ - "трезубец".

\*\* В период с 1984 по 1986 гг. реактор работал на мощности 2 МВт в циклическом режиме: 11-18 сут работы на мощности с последующей остановкой на 10 сут.

нент усреднение не проводилось. Временной ряд  $Y_1(t)$  характеризует изменение статистических характеристик реакторных шумов /или вибраций ПО/ за отдельные циклы работы реактора /11-18 суток/, а  $Y_2(t)$  - за весь период, с 1983 по 1986 г. Полный массив экспериментальных данных содержал свыше 700 пар измеренных значений  $\sigma$  и  $\Delta$ .

## 2. ДИНАМИКА КОЛЕБАНИЙ ПО И МОЩНОСТИ В ПЕРИОД С 1983 по 1986 г.

На рис.1 показано изменение величин  $\sigma_0$ ,  $\sigma_d$  и  $\sigma_Q/\bar{Q}$  - среднее значение  $\bar{Q}$  в зависимости от времени работы ПО, а на рис.2 приведены данные об изменении величин  $\sigma_\phi$  и  $\Delta\phi$  за этот же период времени. Стрелками на рис.1 и 2 обозначены некоторые опорные временные точки: 1 - начало первого выхода реактора на мощность 2 МВт /в режиме 5 1/с/, 2 - поломка датчика опорных импульсов, установленного на валу ДПО, 3 - введение новой системы стабилизации оборотов ОПО /ССО/. Изменение спектральных характеристик исследуемых процессов в период работы реактора на мощности 2 МВт /1984-1986 гг./ показано на рис.3,4. Как видно из рис.1,2, на протяжении всего периода работы реактора на мощности 1-2 МВт средний уровень случайных неконтролируемых отклонений лопастей ПО и флуктуаций энергии импульсов мощности были незначительны:

$$\bar{\sigma}_0 = (5,5^{+3,2}_{-2,0}) \cdot 10^{-3} \text{ мм}, \quad \bar{\sigma}_d = 0,036^{+0,018}_{-0,016} \text{ мм},$$

$$\bar{\sigma}_Q / \bar{Q} = 4,0^{+2,7}_{-1,2} \text{ \%}.$$

Наибольшие флуктуации мощности ( $\sigma_Q / \bar{Q} \approx 7\%$ ), по-видимому, были связаны с развитием дефекта в датчике опорных импульсов, повлекшем увеличение поперечных колебаний ПО. Система ССО существенно уменьшила фазовые колебания ПО /до уровня  $\sigma_\phi \approx 0,018^\circ$ , рис.2/, практически устранив также нестабильность периода вращения ОПО.

Поскольку фазовые колебания заметно влияют на флуктуации мощности только при сравнительно больших значениях  $\sigma_\phi$

$$(\sigma_Q / \bar{Q} |_\phi = 3,7 \sigma_\phi^2 \text{ \%}, \quad [\sigma_\phi] = \text{град}).$$

то после введения ССО этим источником нестабильности реакторного шума практически можно пренебречь. Спектральный состав исследуемых процессов, как это видно из рис.3,4, изменяется во времени незначительно. Для спектров  $S_Q$  и  $S_0$  характерно постепенное уменьшение относительной амплитуды детерминиро-

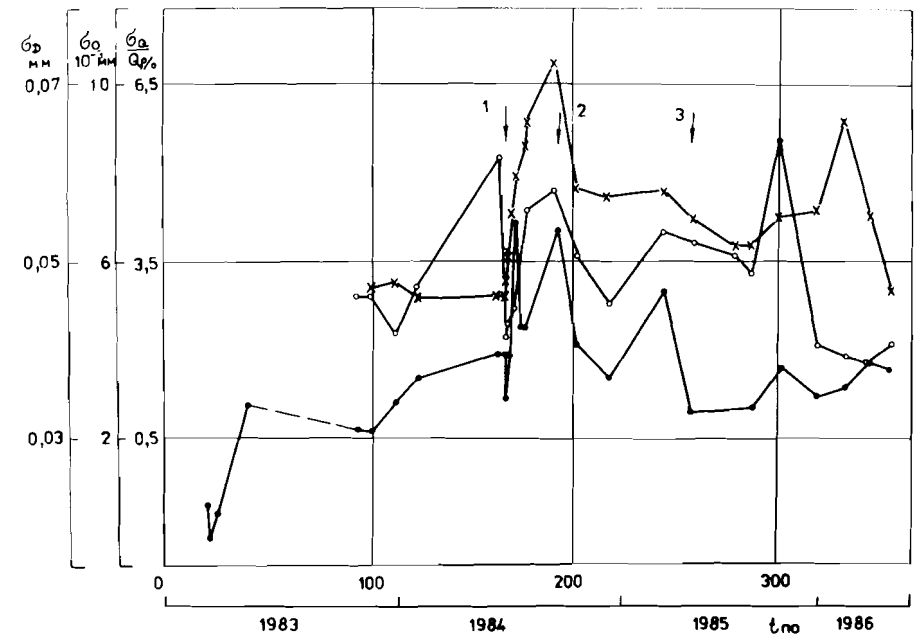


Рис.1. Изменение стандартного отклонения поперечных колебаний ОПО ( $\sigma_0$ ), ДПО ( $\sigma_d$ ) и флуктуаций энергии импульсов мощности ( $\sigma_Q/\bar{Q}$ ) в зависимости от времени работы ПО  $t_{по}$  /сутки/:  $\times$  -  $\sigma_Q/\bar{Q}$ ,  $\sigma - \sigma_0$ ,  $\bullet$  -  $\sigma_d$ . Стрелками отмечены моменты времени, соответствующие началу выхода на мощность 2 МВт /1/, поломке датчика опорных сигналов на валу ДПО /2/ и введению новой системы ССО /3/.

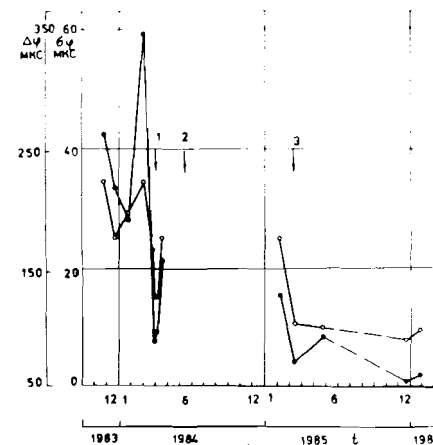


Рис.2. Стандартные ( $\sigma_\phi$ ) и максимальные ( $\Delta\phi$ ) отклонения фазовых колебаний ОПО-ДПО в зависимости от времени  $t$  /месяцы/; одна микросекунда соответствует изменению фазы на  $1,8 \cdot 10^{-3}$  градусов,  $\sigma_\phi - \circ$ ,  $\Delta\phi - \bullet$ .

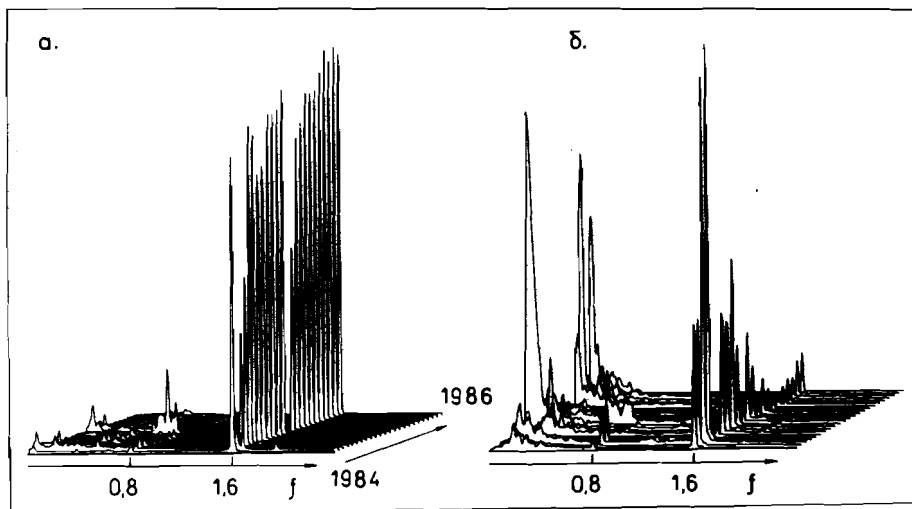


Рис.3. Эксплуатационный режим,  $W = 2$  МВт. Изменение спектральной плотности осевых колебаний ДПО ( $S_d / \sigma_d^2$ ) и флуктуаций энергии импульсов мощности ( $S_Q$ ) в период с апреля 1984 по май 1986 гг.: а - ДПО, б - мощность,  $f$  - частота в Гц.

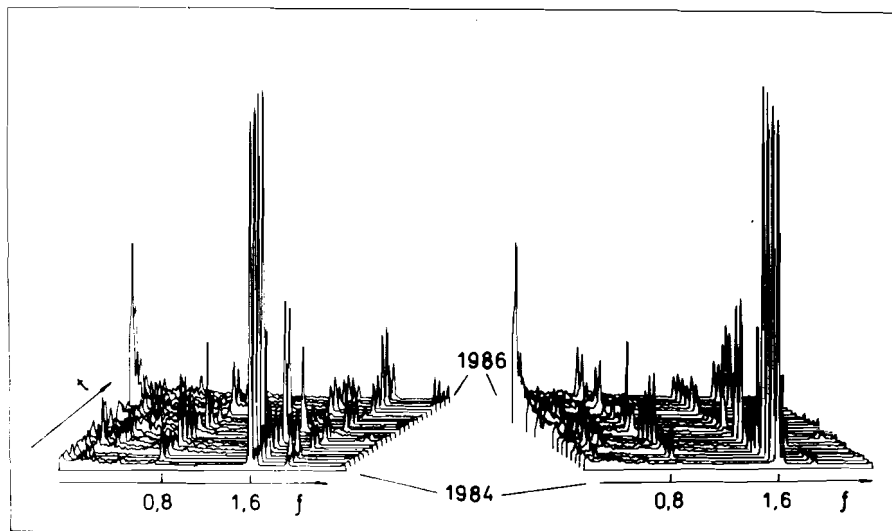


Рис.4. Эксплуатационный режим,  $W = 2$  МВт. Изменение формы спектральной плотности осевых колебаний ОПО ( $S_0 / \sigma_0^2$ ) в период с 1984 по 1986 гг.  $f$  - частота в Гц.

ванных /гармонических/ составляющих и перераспределение части интенсивности колебаний в область низких частот /  $f < 1$  Гц/. Нерегулярное изменение относительной интенсивности основного пика /на частоте 1,63 Гц/ в спектре  $S_Q$  составляет  $12 \div 70\%$ , а в спектре  $S_0$  -  $3 \div 45\%$ . В отличие от ОПО, структура колебаний ДПО слабо зависит от времени, а спектр  $S_d$  в среднем на 96% от полной интенсивности /дисперсии/ колебаний определяется одной компонентой на частоте 1,63 Гц. Несмотря на существенные изменения в уровне и частично - в структуре колебаний ОПО, ДПО и мощности, параметры разброса этих процессов  $\sigma$  и  $\Delta$  связаны между собой с высоким коэффициентом корреляции:  $r_{\sigma\Delta} \geq 0,96$ . Нормированные характеристики разброса

$$\eta_0 = \frac{\Delta X_0}{\sigma_0}, \quad \eta_d = \frac{\Delta X_d}{\sigma_d}, \quad \eta_Q = \frac{\Delta Q}{\sigma_Q},$$

средние значения которых за весь период работы реактора равны

$$\bar{\eta}_0 = 8,2_{-2,2}^{+3,4}, \quad \bar{\eta}_d = 4,3_{-1,8}^{+1,0}, \quad \bar{\eta}_Q = 6,5_{-0,8}^{+0,5},$$

являются устойчивыми к значительному изменению самих процессов. Плотности распределений  $P(X_0)$  и  $P(Q)$  близки к усеченному нормальному распределению. При этом для  $P(Q)$  средний интервал изменения  $Q$  ( $\bar{\eta}_Q = 6,5$ ) с вероятностью, равной 0,9993, соответствует нормальному распределению. Однако вероятность больших отклонений  $Q$  от среднего значения (на величину  $\eta_Q / 2 > 3,5$ ) практически равна нулю. Для примера отметим, что из 8192 последовательных значений  $Q$  только в шести случаях отклонения мощности не могут быть описаны с помощью нормального распределения. В отличие от  $P(Q)$ , для распределения  $P(X_0)$  характерны более "тяжелые" по сравнению с нормальным хвосты. Для распределения  $P(X_d)$ , если учесть, что колебания ДПО близки к гармоническим, справедливо условие:

$$\eta_d \geq 2\sqrt{2} = 2,8.$$

Отличие среднего значения  $\bar{\eta}_d = 4,3$  от значения, соответствующего чисто гармоническому стационарному колебанию, связано с нестабильностью амплитуды колебаний, но не фазы, поскольку полная фаза колебаний, как показано в работе [1], изменяется незначительно. Попытка выделить некоторую регрессионную зависимость типа  $\eta_Q = f(\eta_0, \eta_d, t, \beta)$ , где  $t$  - время,  $\beta$  - коэффициенты регрессионной модели, не дали значимых значений  $\beta$ , и все возможные линейные модели, учитывающие в

том числе и взаимодействие переменных, оказались неадекватными экспериментальными данными. Из приведенного анализа следует: изменение  $\eta_Q$  случайным образом зависит от времени /отсутствует тренд/, а сама величина  $\eta_Q$  зависит от достаточно большого числа факторов, из которых  $\eta_0$  и  $\eta_d$  не являются определяющими /частные коэффициенты корреляции  $\eta_0$  и  $\eta_d$  с  $\eta_Q$  невелики:  $r_{0Q} = 0,27$ ,  $r_{dQ} = 0,29$ /.

Таким образом, плотность распределения  $P(Q)$  является консервативной /слабо изменяющейся во времени/ характеристикой реакторного шума. Поэтому заметное отклонение  $P(Q)$  от типичного /усеченного нормального/ распределения может быть следствием только существенных изменений, происходящих в работе реактора. Это свойство  $P(Q)$  может использоваться, например, при идентификации аномальных состояний реактора. Рассмотрим влияние нестабильности вибраций ПО на флуктуации мощности. При малых ее отклонениях от среднего уровня относительную дисперсию флуктуаций энергии импульсов мощности, обусловленную осевыми вибрациями ПО, можно представить в виде:

$$\left(\frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}\right)_{\text{по}}^2 = H_0^2 \sigma_0^2 + H_d^2 \sigma_d^2 - 2H_0 H_d R_{0d} \quad /1/$$

где  $H_0 = \frac{dK}{dX} \Big|_0$ ,  $H_d = \frac{dK}{dX} \Big|_d$  - дифференциальные эффек-

тивности ОПО и соответственно ДПО при их осевом сдвиге;  $R_{0d}$  - ковариация отклонений ОПО с отклонениями ДПО. Модель /1/ является упрощенной, т.к. не учитывает влияния мощности реактора ( $W$ ) и времени его работы ( $t$ ) на  $\sigma_0$ ,  $\sigma_d$  и  $R_{0d}$ . Для установления адекватной связи флуктуаций мощности с параметрами  $\sigma_0$ ,  $\sigma_d$ ,  $W$  и  $t$ , воспользуемся методами линейного множественного регрессионного анализа. Исходную регрессионную модель представим в виде:

$$\left(\frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}\right)^2 = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i X_i - \sum_{i,j} \beta_{ij} X_i X_j - \sum_{i,j} \beta_{ij} X_i^2 X_j^2 \quad /2/$$

где  $X_i = \sigma_0, \sigma_d, W, t$  - параметры ( $m = 4$ ),  $\beta = (X^T X)^{-1} X^T$ .

$\left(\frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}\right)^2$  - вектор оценок коэффициентов модели,  $X$  - матрица наблюдений параметров /число наблюдений равно 40/,  $\left(\frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}\right)^2$  - вектор экспериментальных данных. Коэффициенты  $\beta$  являются мерой корреляционной связи указанных выше параметров и их взаимодействия с величиной  $\left(\frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}\right)^2$ . Наилучшее регрессионное уравнение, адекватное всему множеству экспериментальных данных /с 1983 по 1986 гг./ и имеющее значимые коэффициенты  $\beta$ , имеет вид:

$$\left(\frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}\right)^2 = 20,5 - 8,97 \cdot 10^5 \sigma_0^2 - 1,52 \cdot 10^4 \sigma_d^2 + 6,31 \cdot 10^8 \sigma_0^2 \sigma_d^2 + 10,2 W \quad /3/$$

Здесь величины  $\sigma_0$  и  $\sigma_d$  выражены в мм,  $W$  - МВт, а  $\sigma_Q / \bar{Q}$  - в процентах.

Отметим, что время в явном виде в выражении /3/ не входит /при уровне значимости 0,05 гипотеза:  $\beta_t = 0$  по критерию Стьюдента не противоречит экспериментальным данным/. Временной фактор входит в выражение /3/ через переменные  $\sigma_0^2$  и  $\sigma_d^2$ , коррелирующие с параметром  $t$ , поэтому последний в данном случае оказался избыточным.

Основные корреляционные соотношения между переменными, входящими в выражение /3/, следующие:

1/ Матрица парных коэффициентов корреляции имеет вид

	$\sigma_0^2$	$\sigma_d^2$	$\sigma_0^2 \sigma_d^2$	$W$	$(\sigma_Q / \bar{Q})^2$
$\sigma_0^2$	1	0,23	0,80	0,17	0,31
$\sigma_d^2$		1	0,73	0,21	0,56
$\sigma_0^2 \sigma_d^2$			1	0,22	0,62
$W$				1	0,57
$(\sigma_Q / \bar{Q})^2$					1

2/ Вектор частных коэффициентов корреляции  $r_{iQ}$  переменных по отношению к  $(\sigma_Q / \bar{Q})^2$  равен

$$r_{iQ} = -0,63; -0,50; 0,68; 0,69,$$

$$i = \sigma_0^2, \sigma_d^2, \sigma_0^2 \sigma_d^2, W.$$

3/ Множественный коэффициент корреляции величины  $(\sigma_Q / \bar{Q})^2$  со всеми переменными - 0,87.

Из анализа выражения /3/ и представленных выше корреляционных соотношений следует, что

- Уровень средней мощности существенно влияет на относительное изменение реакторного шума ( $r_{WQ} = 0,69$ ), это подтверждает и рис.1;

- Измеренные значения  $\sigma_0^2$  и  $\sigma_d^2$ , как оказалось, входят в /3/ с обратным знаком /см. выражение /1//. Различие в знаках при коэффициентах теоретической и экспериментальной моделей может быть связано с зависимостью колебаний ПО от места встречи отражателей, а также с влиянием взаимной корреляции колебаний ПО на флуктуации мощности / $r_{\sigma_0^2 \sigma_d^2 Q} = 0,62$ /.

Отметим также, что коэффициенты при  $\sigma_0^2$  и  $\sigma_d^2$  в /3/ есть величины, пропорциональные дифференциальной эффективности отражателей. Поэтому их отношение

$$\sqrt{\frac{89,7 \cdot 10^4}{1,5 \cdot 10^4}} \approx 7,7$$

является оценкой сравнительной эффективности отражателей для измеренных колебаний ПО при уровне мощности 1-2 МВт. Величина

$$\frac{dK}{dX} \Big|_0 / \frac{dK}{dX} \Big|_d, \text{ по данным физического пуска, равна } 4^{1/2}.$$

Для средних значений  $\bar{\sigma}_0 = 5,5 \cdot 10^{-3}$  мм и  $\bar{\sigma}_d = 0,035$  мм отношение флуктуаций реактивности, обусловленных осевыми вибра-

$$\text{циями отражателей } \frac{\sigma_{\xi_0}}{\sigma_{\xi_d}} = \frac{\bar{\sigma}_0 H_0}{\bar{\sigma}_d H_d} = 1,2, \text{ соответствует отно-}$$

шению частных коэффициентов корреляции колебаний ПО с мощностью  $r_{0Q} / r_{dQ} = 0,63 / 0,50 \approx 1,2$ . Таким образом, как видно из приведенного выше анализа, длиннопериодные тренды колебаний мощности /в пределах 4 лет/ в основном зависят от нестабильности параметров случайных колебаний подвижных отражателей.

### 3. ДИНАМИКА КОЛЕБАНИЙ ПО И МОЩНОСТИ В ТЕЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ РАБОТЫ РЕАКТОРА

Детальная картина изменения уровня колебаний ПО и мощности для трех циклов работы реактора /февраль, март, апрель 1986 г./ представлена на рис.5. Вибрации ДПО, как это видно из рисунка 5, при выходе на мощность 2 МВт возрастают от  $\sigma_H \approx 0,02$  мм /W = 0/ до некоторого практически установившегося значения  $\sigma_{уст}$ . Наблюдаемое изменение колебаний ДПО можно аппроксимировать зависимостью

$$\sigma_d(t) = \sigma_H + \sigma'_d [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})], \quad \sigma'_d = \sigma_{уст} - \sigma_H,$$

позволяющей дать ей физическую интерпретацию. Средние по трем циклам оценки  $\sigma'_d$ ,  $\sigma_{уст}$  и  $\tau$  равны:

$$\bar{\sigma}'_d = 0,017 \pm 0,001 \text{ мм}; \quad \bar{\sigma}_{уст} = /3,7 \pm 0,2/ \cdot 10^{-2} \text{ мм};$$

$$\bar{\tau} = 3,0 \pm 0,4 \text{ сут.}$$

При аварийном сбросе мощности /12 апреля 1986 г./ спад уровня вибраций ДПО оказался существенно быстрее нарастания /< 1 сут /.

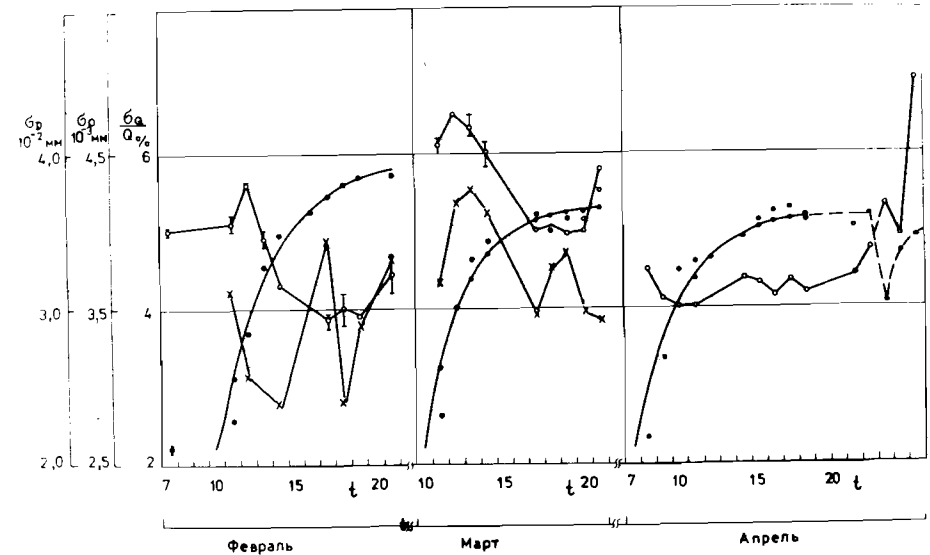


Рис.5. Изменение стандартного отклонения колебаний ОПО ( $\sigma_0$ ), ДПО ( $\sigma_d$ ) и флуктуаций энергии импульсов мощности ( $\sigma_Q/Q$ ) в течение отдельных циклов работы реактора /1986 г./: W = 2 МВт, G = 85-90 м<sup>3</sup>/ч, t - календарное время. x -  $\sigma_Q/Q$ , o -  $\sigma_0$ , • -  $\sigma_d$ .

Как показал спектральный анализ, зависимость  $\sigma_d(t)$  обусловлена изменением амплитуды колебаний ДПО ( $A_d$ ) на частоте 1,63 Гц;  $A_d(t) = \sqrt{2} \sigma_d(t)$ . Такая особенность колебаний ДПО, вероятнее всего, связана с термомеханическими деформациями нескольких элементов привода ПО, имеющих различную тепловую инерционность. Медленные изменения шумов мощности /за цикл/ оказались слабо коррелированы с изменением отклонений ПО: частные коэффициенты корреляции между  $\sigma_0^2$ ,  $\sigma_d^2$ ,  $\sigma_0^2 \sigma_d^2$  и  $(\sigma_Q/Q)^2$  во всех трех циклах не превышали следующих значений:  $r_{0Q} \leq 0,05$ ,  $r_{dQ} \leq 0,1$ ,  $r_{0dQ} \leq 0,1$ . Поэтому все регрессионные модели, построенные по типу /2/, оказались неадекватны экспериментальным данным. Таким образом, в пределах отдельных циклов /за время более одних сут и менее 11-18 сут / изменения флуктуаций мощности статистически не связаны с изменением параметров измеренных колебаний отражателей. На этом интервале времени погрешность определения шумов мощности по измеренным значениям величин  $\sigma_0$  и  $\sigma_d$  велика  $\delta_{\sigma_Q/Q} / \delta(\sigma_Q/Q) = \sqrt{1 - r_{dQ}^2} \approx 55\%$ . Здесь  $r_{dQ} = 0,67$  - средний коэффициент множественной корреляции величины  $(\sigma_Q/Q)^2$  с  $\sigma_0^2$ ,  $\sigma_d^2$ ,  $\sigma_0^2 \sigma_d^2$  и W.

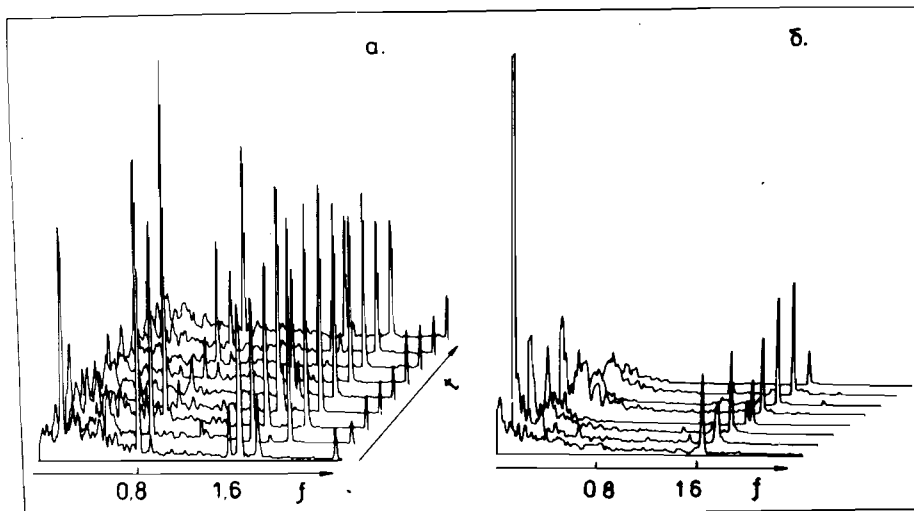


Рис.6. Изменение спектральной плотности поперечных отклонений ОПО /а/ и флуктуаций энергии импульсов мощности /б/ в течение отдельного цикла работы реактора /март 1986 г./  $f$  – частота в Гц,  $t$  – время. Интервал по оси  $t$  равен одним суткам.

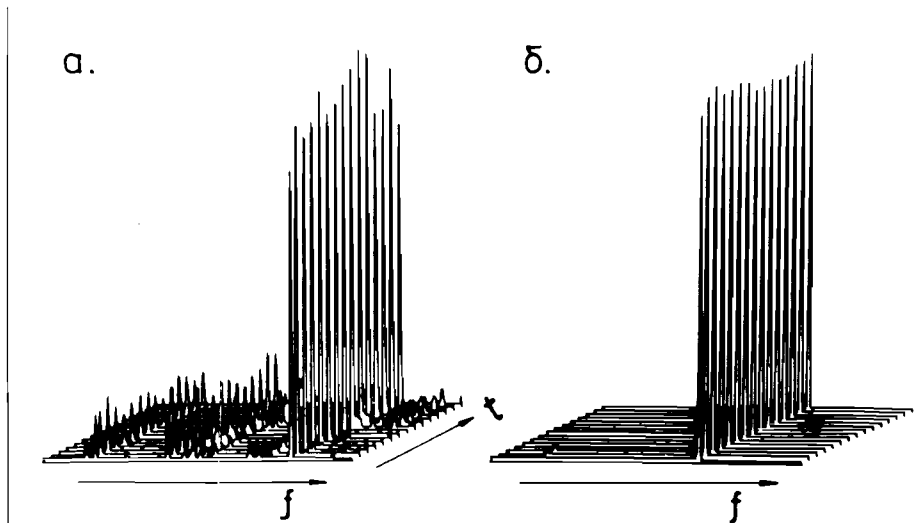


Рис.7. Характерная форма спектральной плотности колебаний ОПО /а/ и ДПО /б/ на малых интервалах времени /общий интервал времени – 30 мин./,  $f$  – частота. Для ОПО частота опроса соответствовала частоте вращения ОПО /25 Гц/.

Как видно из рис.6, нестационарная компонента в колебаниях мощности в значительной степени вызвана изменением низкочастотной части спектра  $f < 1$  Гц/. Последняя, согласно [3], в основном зависит от движения натрия через активную зону. В связи с этим для построения регрессионной модели реакторных шумов на интервалах времени менее 18 сут необходимы данные о реальных колебаниях ПО относительно активной зоны и учет шумов реактивности со стороны системы охлаждения.

Однако, как показал корреляционный анализ, проведенный между отдельными компонентами в спектрах  $S_Q$ ,  $S_0$  и  $S_d$ , нестационарная составляющая в интенсивности отдельных линий спектра  $S_Q$  частично связана с нестабильностью измеренных колебаний ОПО /нестабильность колебаний ДПО сказывается на мощности в гораздо меньшей степени/. Так, например, частные коэффициенты корреляции между относительной /нормированной на дисперсию/ интенсивностью основного пика 1,63 Гц, в спектрах  $S_0$  и  $S_d$  и относительной интенсивностью этого пика в спектре  $S_Q$  при установившемся уровне колебаний ДПО /в конце цикла/ соответственно равны 0,34 и 0,1.

Характерная форма спектров  $S_0$  и  $S_d$ , измеренная в конце цикла в серии коротких временных интервалов общей длительностью ~30 мин., показана на рис.7.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Анализ экспериментальных данных показал, что при работе реактора ИБР-2 на мощности 1-2 МВт /1984-1986 гг./ с ДПО, выполненным в виде "трезубца", длиннопериодные тренды шумов мощности /в пределах четырех лет/ связаны в основном с изменением общей картины вибраций ПО: с изменением спектра и уровня осевых колебаний ОПО, а также с изменением мощности взаимных колебаний ОПО и ДПО.

Каждый выход реактора на мощность 2 МВт вызывает появление нестационарной составляющей в амплитуде колебаний ДПО на частоте 1,63 Гц. Однако установившиеся шумы реактивности, обусловленные этой компонентой, малы и не превышают  $2 \cdot 10^{-6}$   $\Delta K/K$ . Вероятным источником нестационарности в колебаниях ДПО может быть термическая деформация отдельных элементов в конструкции модулятора реактивности, включая биологическую защиту, расположенную за ПО.

При прогнозировании аномальных состояний реактора, основанном на использовании регрессионных моделей реакторного шума, необходимы данные о реальных колебаниях ПО относительно активной зоны и учет колебаний основных параметров системы охлаждения реактора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пепёлышев Ю.Н., Хан Пхун Ги. Сообщение ОИЯИ, 13-85-234, Дубна, 1985.
2. Ломидзе В.Л. и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-12-195, Дубна, 1979.
3. Пепёлышев Ю.Н. Сообщение ОИЯИ, 13-88-58, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 января 1988 года.

Пепёлышев Ю.Н.

13-88-59

Временные характеристики параметров шумов мощности и колебаний подвижных отражателей реактора ИБР-2

Приводятся результаты экспериментального исследования шумов энергии импульсов мощности и механических вибраций подвижных отражателей, полученные в процессе работы реактора ИБР-2 на мощности 1-2 МВт в период с 1983 по 1986 гг.

Анализируется влияние различных случайных процессов, действующих со стороны ПО, на временную зависимость основных параметров реакторных шумов.

Для обработки данных использовались статистические методы анализа наблюдений. Показано, что длиннопериодные тренды реакторных шумов /в пределах 4-х лет/ существенно зависят от изменения вибраций ПО, а изменение параметров шумов в пределах отдельных циклов работы реактора /за время менее 18 суток/ зависят также и от нестабильности натриевой компоненты реакторного шума.

Показано, что за весь период работы реактора с первым вариантом модулятора реактивности /ДПО - трезубец, ОПО-лопасть/ шумовые характеристики реактора удовлетворяли проектным требованиям. Это было обусловлено высокой стабильностью работы основных технологических систем реактора: системы охлаждения и системы модуляции реактивности.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод Т.А.Филимонычевой

Pepolyshv Yu.N.

13-88-59

Time Characteristics of Reactor Noise Parameters and Vibrations the IBR-2 Reactor Moving Reflectors

The reactor noise and the vibrations of the IBR-2 reactor moving reflectors (MR) during the reactor operation from 1983 to 1986 at a power of 1-2 MW were experimentally studied. An analysis is made of the influence of various random processes due to MR on the temporal dependence of the principal parameters of reactor noises.

The data were processed with statistical methods. It was shown that long period trends of reactor noise (within 4 years) depend essentially on a change of MR vibrations. The change of the parameters of noise during some cycles of measurement (going for less than 18 days) depend also on instability of the sodium component of the reactor noise.

There is reported that the reactor noise characteristics during the whole period of operation of the reactor with the reactivity modulators of first generation (additional moving reflector shaped as a trident and main moving reflector - blade) meet the design requirements. This is mainly due to a high stability of operation of the principal systems of the reactor: the cooling system and the modulation one.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988