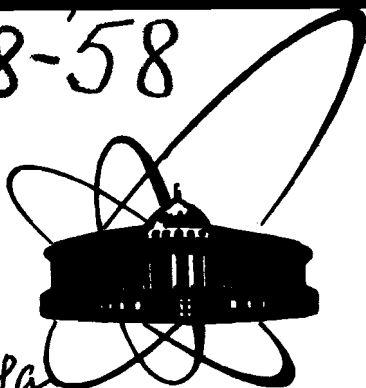


2633/88

88-58



с348а

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

13-88-58

**Ю.Н.Пепёлышев**

**ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ФЛУКТУАЦИЙ  
ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ МОЩНОСТИ  
РЕАКТОРА ИБР-2**

**1988**

Флуктуации мощности для импульсного реактора ИБР-2 приводят к различным нежелательным эффектам: изменяется, например, динамика реактора, затрудняется процесс регулирования мощности, возникают сложности в работе экспериментальной и штатной аппаратуры и т.д. Кроме того, флуктуации ограничивают средний уровень допустимой мощности и сокращают ресурс активной зоны.

С другой стороны, случайные колебания мощности "полезны" тем, что при исследовании их статистических характеристик можно оценить некоторые ядерно-физические параметры активной зоны и определить неконтролируемые эффекты реактивности, вызванные отклонениями в работе различных технологических систем.

В настоящей статье приводятся основные результаты экспериментального исследования шумов мощности реактора ИБР-2, полученные в период энергетического пуска (1980-1984 гг.).

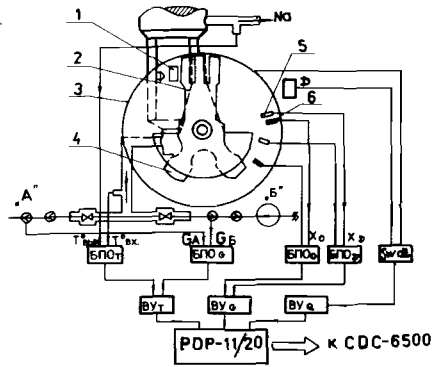
## 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ И МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В основном исследовались флуктуации энергии импульсов мощности ( $Q$ ) и их корреляция со случайными колебаниями основных параметров системы охлаждения активной зоны и с вибрациями подвижных отражателей (ПО): температурой натрия на входе ( $T_{вх}$ ) и выходе ( $T_{вых}$ ) из активной зоны, расходом натрия в петлях А ( $G_A$ ) и Б ( $G_B$ ) первого контура, с суммарным расходом ( $G = G_A + G_B$ ), осевыми перемещениями основного ( $X_0$ ) и дополнительного ( $X_d$ ) подвижных отражателей (ОПО, ДПО), углом рассинхронизации ОПО-ДПО ( $\phi$ ) и с периодом вращения отражателей ( $T_0, T_d$ ).

Измерения проводились с использованием системы для корреляционного и спектрального анализа реакторных параметров<sup>/1/</sup>. Структурная схема измерительной системы показана на рис. 1.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась на ЭВМ CDC-6500 и включала основные процедуры статистического анализа стационарных временных рядов<sup>/2, 3/</sup>. Длина временного ряда задавалась равной 8192. Время измерения, в течение которого в памяти ЭВМ фиксировались последовательные значения энергии импульсов мощности и значения сопутствующего ей параметра, изменялось от 5 до 35 мин. Для дискретных (во времени) процессов ( $Q, X_0, X_d, \phi, T_0, T_d$ ) верхняя граничная частота экспериментальных спектров ( $f_c = f_0/2$ )

Рис. 1. Принципиальная схема измерения шумовых характеристик реактора ИБР-2: Д – нейтронные детекторы, БПО – блоки предварительной обработки сигналов с датчиков температуры (Т), расхода натрия (G) перемещений ОПО (О) и ДПО (Д); ВУ – входные устройства ЭВМ в системе КАМАК при измерении температуры (Т), расхода (G) и энергии импульсов мощности (Q); 1 – нейтронный детектор в центре АЗ, 2 – ДПО, 3 – кожух ПО, 4 – ОПО, 5, 6 – емкостные датчики осевых перемещений ДПО и соответственно ОПО.



составляла 2,5 Гц в режиме 5 1/с и 12,5 Гц в режиме 25 1/с. В качестве детекторов нейтронов использовались ионизационные и вакуумные камеры КВК-1, RWKJ-8, КНК-15, КНТ-14, КНТ-54 и сцинтилляционные детекторы по протонам отдачи.

## 2. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Реакторные шумы исследовались в зависимости от уровня средней мощности ( $W$ ) и расхода теплоносителя через активную зону ( $G$ ). Уровень  $W$  задавался в диапазоне от  $\sim 0$  до 2 МВт, а значение  $G$  — от 8 до 110 м<sup>3</sup>/ч\*. В диапазоне  $0,03 \leq W \leq 2$  МВт и  $G > 40$  м<sup>3</sup>/ч шумы мощности дополнительно исследовались при отключенной системе автоматического регулирования мощности (АР), а в диапазоне  $0,5 < W \leq 2$  МВт — в процессе линейного изменения мощности, задаваемого системой АР. При малой мощности ( $W \leq 4,5$  кВт) проводились измерения шумов в стационарном (не импульсном) режиме работы реактора.

При частоте следования импульсов мощности, равной 5 1/с, исследовался в основном режим, близкий к эксплуатационному: расход натрия изменялся в небольших пределах (70-100 м<sup>3</sup>/ч), вращение ПО осуществлялось со стабилизацией скорости ОПО (в пределах 0,1%), а уровень средней мощности поддерживался системой АР.

\* Номинальный расход натрия через активную зону составляет 100 м<sup>3</sup>/ч.

## 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные данные систематизированы в зависимости от условий работы реактора и особенностей реакторных шумов. Эти данные приведены ниже в отдельных разделах.

### 3.1. Режим непрерывной стационарной мощности (без вращения ПО) $5 \text{ Вт} \leq W \leq 1 \text{ кВт}$

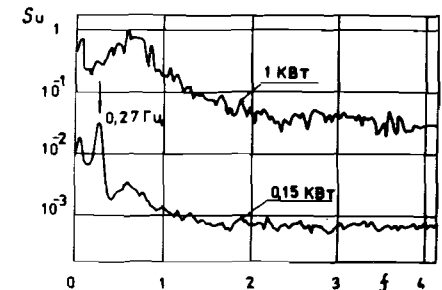
Этот режим использовался для получения первых предварительных данных о характере реакторных шумов и их корреляции с работой основных технологических систем. Условия измерений позволяли непосредственно связать форму спектральной плотности шумов тока ионизационной камеры  $S_{\mu}(f)$  с флуктуациями реактивности  $S_{\mu}(f) \sim \sim |\rho(f)|^2$ . Измеряемая величина  $\rho$  определялась с погрешностью  $(\Delta\rho)$  не хуже  $\sim 10^{-6} \Delta K/K$  (0,05  $\phi$ ) или  $(\Delta\rho/\beta) = (\Delta W/W) \approx \approx 5 \cdot 10^{-4}$ , где  $\Delta W$  — погрешность измерения шумов мощности,  $\beta = = 2,165 \cdot 10^{-3}$  — эффективная доля запаздывающих нейтронов.

Эксперименты показали, что суммарные эффекты реактивности, обусловленные:

- продуванием воздуха через стационарные отражатели,
- циркуляцией воды в замедлителях,
- циркуляцией воды в кожухе ПО,

не превышали ошибку измерения, и их влиянием на шумы мощности в импульсном режиме можно пренебречь ( $\sigma_Q/Q \leq 0,5\%$ ). На рис. 2 приведена характерная форма  $S_{\mu}$  при  $Q = 100$  м<sup>3</sup>/ч. Там же показан спектр  $S_{\mu}$  с калибровочным пиком на частоте 0,27 Гц (от осциллирующего движения промежуточного регулятора на  $\pm 0,2\phi$ ). Основная мощность шума сосредоточена в частотном диапазоне  $[0,1; 1,0]$  Гц и практически полностью вызвана движением натрия через активную зону. Например, суммарная интенсивность шума в этой области частот при изменении расхода натрия от 40 до 100 м<sup>3</sup>/ч увеличивается в 7 раз. Однако при  $G \leq 40$  м<sup>3</sup>/ч уровень низкочастотных шумов слабо зависит от  $Q$  и практически совпадает с фоновым (с уровнем на частотах выше 1 Гц). Амплитуда колебаний реактивности на некоторых выделенных частотах, например, на частоте  $\sim 0,45$  или

Рис. 2. Режим непрерывной мощности (без вращения ПО). Спектральная плотность реакторных шумов  $S_{\mu}$  при некоторых значениях средней мощности реактора.  $f$  — частота в Гц. Расход натрия через активную зону равен 100 м<sup>3</sup>/ч. Пик 0,27 Гц обусловлен осцилляцией внешней реактивности от движения промежуточного регулятора.



~ 0,65 Гц, не превышает  $0,05 \div 0,06$  ф. При номинальном расходе теплоносителя случайные колебания мощности ( $\sigma_W/W$ ) составляют  $0,2 \div 0,35\%$ , а флуктуации внешней реактивности ( $\sigma_p$ ) — соответственно  $0,2 \div 0,35$  ф.

Таким образом, влияние различных случайных эффектов на шумы мощности, в том числе и эффектов, связанных с движением натрия через активную зону, оказалось незначительным.

### 3.2. Режимы 25 и 5 1/с. Стохастические флуктуации мощности. $W \leq 100$ Вт.

При малой мощности основной причиной флуктуаций является стохастический характер процесса деления и размножения нейтронов. Подробно исследовалась область  $0,03 \leq W \leq 100$  Вт, соответствующая изменению максимальной реактивности  $\epsilon_m$  от значения, несколько меньшего мгновенной критичности ( $\epsilon_m \leq 0$ ), до равновесного, равного в режиме 5 1/с  $1,06 \cdot 10^{-3}$  и  $0,77 \cdot 10^{-3}$  — в режиме 25 1/с. Относительная дисперсия флуктуаций энергии импульсов мощности  $\sigma^2 = \sigma_Q^2 / \bar{Q}^2$  в зависимости от величины  $W^{-1}$  приведена на рис. 3. Как видно из рисунка, в обоих режимах (25 и 5 1/с) экспериментальные данные хорошо согласуются между собой и при  $W \geq 1$  Вт их можно аппроксимировать зависимостью:

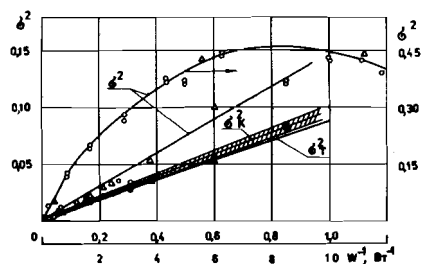


Рис. 3. Зависимость относительной дисперсии энергии импульсов мощности от величины  $W^{-1}$  в режимах 25 1/с (●) и 5 1/с (▲). (●, ▲ — соответственно после исключения низкочастотного тренда):  $\sigma^2$  — измеренная,  $\sigma_K^2$  — с коррекцией на низкочастотный тренд,  $\sigma_T^2$  — расчетная. Заштрихованная область включает погрешность в определении  $\sigma_K^2$ . Нижняя ось абсцисс соответствует правой шкале ординат.

$$\sigma^2 = \delta_0^2 + \frac{0,148}{W}, \quad (1)$$

где  $\delta_0^2 \ll 1$ ;  $[W] = \text{Вт}$ .

Согласно работе [4], дисперсия  $\sigma_T^2$  в указанном выше диапазоне  $\epsilon_m$  (здесь индекс "Т" указывает на теоретическую оценку  $\sigma^2$ ) равна:

$$\sigma_T^2 = \Delta^2 (1 + \delta_0^2) + \delta_0^2, \quad (2)$$

где  $\Delta^2 = \frac{\bar{\nu} \Gamma_2}{2 S \tau}$  — относительная дисперсия стохастических флуктуа-

ций, а  $\delta_0^2$  — относительная дисперсия, обусловленная флуктуациями внешней реактивности;  $S = S_{\text{сп}} + S_3$  — интенсивность постоянно действующего во время импульса источника нейтронов спонтанного деления  $S_{\text{сп}}$  и запаздывающих нейтронов  $S_3 = \bar{\nu} \beta W$ .

Для экспериментальных значений  $S_{\text{сп}} = 7,7 \cdot 10^6$  н/с и  $\tau = 62$  нс, а также данных, полученных при измерении абсолютной мощности реактора (182 МэВ  $\rightarrow 3,434 \cdot 10^{10}$  дел/с Вт), теоретическую зависимость (2) можно при условии  $\delta_0^2 \ll 1$  представить в виде:

$$\sigma_T^2 = \delta_0^2 + \Delta^2 = \delta_0^2 + \frac{1,97}{0,77 + 22,3 W},$$

где  $\bar{\nu} = 3$  нейтр/дел,  $S = (0,77 + 22,3 W) \cdot 10^7$  нейтр/с,  $[W] = \text{Вт}$ . При  $W \geq 0,2$  Вт имеем:

$$\sigma_T^2 = \delta_0^2 + \frac{0,0884}{W}, \quad [W] = \text{Вт}. \quad (3)$$

Из (1) и (3) видно, что расчетная зависимость  $\sigma_T^2 (W^{-1})$  в 1,67 раза занижает дисперсию  $\Delta^2$  по сравнению с ее измеренной величиной. Одна из причин отмеченного расхождения была связана с дополнительным увеличением флуктуаций за счет медленного изменения мощности в процессе измерения. Частично это было вызвано неточностью установочного критического состояния и действиями оператора, направленными на поддержание мощности.

С учетом коррекции исходных экспериментальных данных на дополнительные нестохастические шумы зависимость  $\sigma^2 (W^{-1})$  оказалась близкой к расчетной и равной

$$\sigma_K^2 = \delta_0^2 + \frac{(0,097 \pm 0,005)}{W}. \quad (4)$$

Мощность дана в Вт (см. рис. 3).

Более детальную информацию о статистических свойствах реакторного шума дает плотность распределения энергии импульсов мощности  $P(Q)$ . Для некоторых уровней мощности распределение  $P(Q)$  в режиме 25 1/с показано на рис. 4. Там же приведена теоретическая форма распределения  $P_T(X)^{1/4}$ :

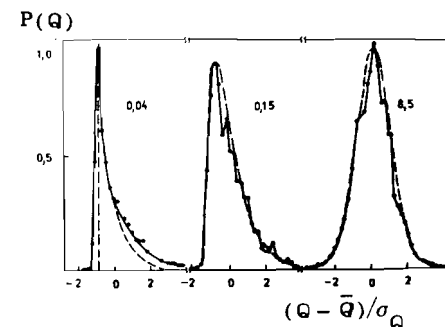


Рис. 4. Плотность распределения энергии импульсов мощности  $P(Q)$  в режиме 25 1/с при некоторых значениях средней мощности реактора (Вт). Сплошная линия — расчет по формуле (5).

$$P_T(X) dX = \frac{(X)^{1/\Delta^2 - 1}}{\Gamma(1/\Delta^2)} \exp(-X) dX, \quad (5)$$

где  $X = \frac{n}{\bar{n}\Delta^2}$ ;  $\bar{n}$  — среднее число нейтронов в реакторе;  $\Gamma(z)$  —

гамма-функция. Для сопоставления с экспериментальной гистограммой распределение  $P_T(X)$  вычислялось в виде:

$$P_T(X) = \frac{1}{\Delta X} \int_{X+\Delta X} P_T(X') dX', \quad \text{где } \Delta X = \frac{0,2Q}{\Delta}.$$

Согласно [4], при  $S_T \gg 1$ , т.е. при  $W \gg 0,1$  Вт, распределение  $P_T(X)$  (распределение типа  $\chi^2$ ) стремится к гауссовому. Из рис. 4 также видно, что расчетная и экспериментальная формы распределений достаточно хорошо согласуются между собой. Некоторое различие между  $P(Q)$  и  $P_T(X)$  связано с ошибкой в определении уровня мощности.

### 3.3. Режим 25 1/с. $W > 1$ кВт

При большом уровне мощности стохастические флуктуации малы ( $\Delta \leq 1\%$ ), и основной вклад в колебания мощности вносят шумы внешней реактивности. Величина  $\sigma_Q/Q$  как функция  $W$  и  $G$  представлена на рис. 5 (значение  $\sigma_Q/Q$  вблизи точки  $W = 0$  на рис. 5 приведено для  $W = 300$  Вт, когда вклад стохастических шумов еще велик  $\Delta = 1,8\%$ ). Возрастание шумов при увеличении  $W$  выше 0,5 МВт и  $G$  выше  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  обусловлено действием мощной обратной связи и частично, как показано в разд. 4, с некоторым увеличением шумов внешней реактивности.

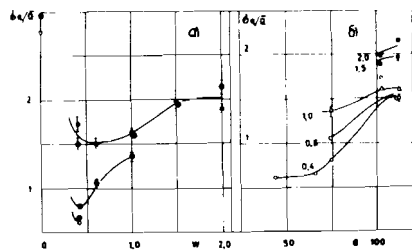
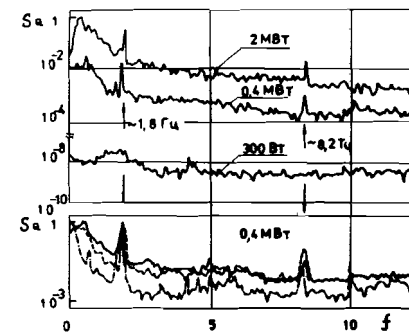


Рис. 5. Режим 25 1/с. Относительные стандартные отклонения энергии импульсов мощности  $\sigma_Q/Q$  (%) как функция средней мощности реактора  $W$  (МВт) (а) и расхода теплоносителя через активную зону  $G$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) (б). Цифрами на рис. б отмечено значение средней мощности в МВт. Расход натрия через активную зону:  $\circ$  —  $110 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\square$  —  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\triangle$  —  $73 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\diamond$  —  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Характерный вид спектра колебаний энергии импульсов мощности ( $S_Q$ ) при некоторых значениях  $W$  и  $G$  показан на рис. 6. Как видно из этого рисунка, на форму спектра  $S_Q$  влияют и уровень мощности и величина расхода, особенно в низкочастотной области спектра

Рис. 6. Режим 25 1/с. Спектральная плотность флуктуаций энергии импульсов мощности  $S_Q$  при номинальном значении расхода теплоносителя ( $G = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и некоторых значениях средней мощности. Внизу — форма  $S_Q$  при  $W = 0,4$  МВт при некоторых значениях  $G$ :  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$  (—),  $66 \text{ м}^3/\text{ч}$  (- - -) и  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  (- · -)  $f$  — частота, Гц.



ниже 2 Гц. Так, например, средняя частота  $\bar{f}$  низкочастотной компоненты спектра  $S_Q$  ( $0,01 \leq f \leq 1,54$  Гц) зависит от  $G$  следующим образом\*:  $\bar{f} = 0,15 + (4 \pm 0,1) \times 10^{-3} G$ , Гц; [ $G$ ] =  $\text{м}^3/\text{ч}$ . За вычетом фона (постоянной подложки в спектре  $S_Q$ ) частота  $\bar{f}$  равна:  $\bar{f} = (4,1 \pm 0,1) 10^{-3} G$ , Гц.

В то же время вклад суммарной интенсивности этой части спектра ( $\sigma_{Na}^2$ ) ("натриевой" компоненты) в полную дисперсию реакторного шума  $\eta_{Na}^2 = \frac{\sigma_{Na}^2}{\sigma_Q^2}$  в большей степени зависит от мощности, чем

от расхода натрия. Например, величина  $\eta_{Na}^2$ , усредненная по расходу, зависит от  $W$  следующим образом:

$$\eta_{Na}^2 = \begin{cases} 67 \pm 7\% & W \leq 0,6 \text{ МВт} \\ 70 \pm 8\% & 0,6 \leq W \leq 1 \text{ МВт} \\ 83 \pm 8\% & W \geq 1,5 \text{ МВт} \end{cases}$$

т.е. при  $W \geq 1,5$  МВт 83% от полной дисперсии реакторного шума связано с натрием.

Пики в спектрах  $S_Q$  на частотах  $\sim 1,8$  и  $\sim 8,2$  Гц (рис. 6) коррелируют с поперечными вибрациями ОПО ( $x$ ): спектральная плотность поперечных отклонений ОПО  $S_x$  и взаимная спектральная плотность  $S_{Qx}$  содержат аналогичные пики, а функция когерентности  $\gamma_{Qx}^2 = \frac{S_{Qx}^2}{S_x S_Q}$  на этих частотах близка к единице. С ростом мощности

суммарная относительная интенсивность этих пиков  $\eta_{no}^2 = \frac{\sigma_{no}^2}{\sigma_Q^2}$ , где

$$\sigma_{no}^2 = \int_{\Delta f} S_Q(f) df, \quad \Delta f \text{ — область определения пиков } 1,8 \text{ и } 8,2 \text{ Гц,}$$

уменьшается с 20% ( $W = 0,4$  МВт) до  $\sim 5\%$  ( $W = 1,5$  МВт).

\* Получено при  $W = 0,4$  МВт.

Размах энергии импульсов мощности  $\Delta Q/\bar{Q}$ , где  $\Delta Q = Q_{\max} - Q_{\min}$  связан с  $\sigma_Q/\bar{Q}$  соотношением:  $\Delta Q/\bar{Q} = 7,0 \sigma_Q/\bar{Q}$ . При  $G = 110 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $W = 2 \text{ МВт}$  размах максимален и равен 14% (за исключением области при  $W \leq 1 \text{ кВт}$ , где  $\Delta Q/\bar{Q} = 25\%$ ).

Для всей исследованной области изменения  $W$  и  $G$  ( $W \geq 0,3 \text{ кВт}$ ,  $G > 8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) плотность распределения энергии импульсов мощности близка к усеченному гауссовому распределению (асимметрия и эксцесс не превышают по модулю 0,1). Следовательно, влияние натрия как основного источника флуктуаций мощности в режиме 25 1/с, осуществляется, вероятнее всего, по большому числу сравнительно слабых каналов. Например, через флуктуации тепловых и гидравлических параметров натрия (температуры, скорости, плотности), через вибрации тепловыделяющих элементов и т.д. Экспериментально были оценены только эффекты, связанные с флуктуациями температуры ( $T$ ) и расхода натрия. Основные результаты корреляционных изменений между колебаниями  $Q$  и  $G_A, G_B, G, T_{\text{вх}}, T_{\text{вык}}$  и  $\Delta T = T_{\text{вык}} - T_{\text{вх}}$  (А, Б — петли А и Б первого контура,  $\Delta T$  — подогрев натрия в активной зоне) состоят в следующем. Спектры колебаний температуры и расхода практически ограничены сверху частотой 1,5 Гц (за исключением температуры  $T_{\text{вык}}$ , спектр которой близок к квазibelому шуму). Для колебаний всех параметров (кроме  $T_{\text{вык}}$ ) наблюдается их корреляция с мощностью, в основном на средней частоте колебаний расхода и температуры натрия ( $\bar{f} = [0,03; 0,4] \text{ Гц}$ ). Корреляционная связь между температурой и мощностью ( $Q - T$ ) в среднем выражена в два раза сильнее, чем связь типа  $Q - G$ .

Случайные эффекты реактивности, оцененные по данным  $\sigma_{T_{\text{вх}}}$  и  $\sigma_G$  для  $G = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $W = 0,4 \text{ МВт}$  ( $\sigma_G/\bar{G} = 0,3\%$ ), равны соответственно  $\sigma_{K_G} \approx 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ К эф}$  и  $\sigma_{K_T} < 10^{-5} \text{ К эф}$ . В то же время полные случайные эффекты реактивности, соответствующие полным флуктуациям мощности ( $\sigma_Q/\bar{Q} = 2\%$ ), не превышают  $4 \cdot 10^{-6}$ .

### 3.4. Режим 5 1/с

Этот режим является основным режимом работы реактора. Применительно к анализу реакторных шумов он характеризуется значительным возрастанием поперечных вибраций ПО (в 1,7 - 1,8 раза), повышением чувствительности реактора к шумам внешней реактивности и общим изменением структуры реакторного шума. Основные сведения об уровне флуктуаций мощности на различных этапах энергетического пуска приведены в табл. 1. Интенсивность колебаний мощ-

\* Данные по абсолютным колебаниям температуры ( $\sigma_{T_{\text{вх}}} \approx 0,5^\circ\text{C}$ ) и оценка  $\sigma_{K_T}$  недостаточно надежны: во-первых, из-за высокой инерционности терморпары ( $\tau = 32 \text{ с}$ ) и, во-вторых, из-за неопределенности в оценке натриевого температурного коэффициента реактивности.

Таблица 1

Режим 5 1/с. Средние относительные стандартные ( $\sigma_Q/\bar{Q}$ ) и максимальные ( $\Delta Q/\bar{Q}$ ) отклонения энергии импульсов мощности, относительная интенсивность флуктуаций мощности, обусловленная вибрациями ПО ( $\eta_{\text{по}}^2 = \sigma_{\text{по}}^2 / \sigma_Q^2$ ), протеканием натрия через активную зону ( $\eta_{\text{на}}^2 = \sigma_{\text{на}}^2 / \sigma_Q^2$ ) и их суммарная интенсивность ( $\eta_{\text{р}}^2 + \eta_{\text{на}}^2$ ), а также относительная интенсивность колебаний мощности на частоте  $\sim 1,63 \text{ Гц}$  (%),  $W, G$  — соответственно средняя мощность реактора и расход натрия через активную зону;  $\sigma_Q$  — дисперсия энергии импульсов мощности.

Период работы реактора	W, МВт	G, м <sup>3</sup> /ч	$\sigma_Q/\bar{Q}$	$\Delta Q/\bar{Q}$	$\eta_{\text{по}}^2$	$\eta_{\text{на}}^2$	$\eta_{\text{по}}^2 + \eta_{\text{на}}^2$	$\eta_{\text{р}}^2 + \eta_{\text{на}}^2$	$\eta_{\text{р}}^2$
май 1982 г.	0,4	100	22 ± 0,5	17 ± 2	32 ± 3	58 ± 2	90	32	32
янв.-июнь 1983г.	0,15 ± 1,0	26 ± 100	1,9 ± 0,2	13 ± 2	42 ± 3	-	-	38 ± 3	42
нояб.-дек. 1983г.	1,0	80	2,9 ± 1	20 ± 2	42 ± 3	48 ± 2	91	42	50 ± 10
янв.-март 1984г.	1,0	80	2,9 ± 0,2	20 ± 1	53 ± 17	32 ± 8	85	50 ± 10	57 ± 10
апрель 1984 г.	1,2 ± 2,0	72 ± 100	4,9 ± 2	34 ± 18	61 ± 16	19 ± 9	80	66 ± 3	48 ± 2
май 1984 г.	1,0	85	6,8 ± 0,1	41 ± 2	69 ± 4	12 ± 1	81	71	48 ± 2
июнь 1984 г.	2,0	90	4,6 ± 1	30 ± 1	51 ± 4	20 ± 10	71	73	48 ± 2
декабрь 1984г.	2,0	85	4,5 ± 0,2	30 ± 1	52 ± 2	21 ± 2	73	80 ± 10	48 ± 2
средние значения *									
май 82г. - дек. 84г.	0,15 ± 2,0	26 ± 100	4,3 ± 3	30 ± 22	55 ± 17	25 ± 32	80 ± 10	48 ± 16	48 ± 2

(средние значения взвешены по двум параметрам: по числу измерений за соответствующий период работы реактора и по продолжительности этого периода.)

ности, обусловленных протеканием натрия через активную зону  $\sigma_{Na}^2$  (см. табл. 1), вычислялась интегрированием  $S_Q$  в частотной области 0,01 - 0,79 Гц с учетом поправки на пик ~ 0,62 Гц, связанной с крутильными колебаниями отражателей. Величина  $\sigma_{no}^2$ , численное значение которой определяет дисперсию шума, обусловленного вибрациями ПО, вычислялась интегрированием спектра  $S_Q$  в тех частотных областях

$f_1$ , в которых значения функций когерентности  $\gamma_{Qj} = \frac{S_{Qj}^2}{S_Q S_j}$  ( $j = 0, \Delta, \phi$  — соответственно поперечные и фазовые колебания отражателей) удовлетворяли условию  $\gamma_{Qj}^2(f_1) \geq 0,5$ . На рис. 7 для примера показан типичный спектр колебаний мощности при  $W = 2$  МВт и  $G = 85$  м<sup>3</sup>/ч. Там же приведена соответствующая этому спектру форма  $\gamma_{Qj}^2$ .

Как следует из рис. 5 и табл. 1, отклонения мощности при переходе реактора из режима 25 1/с в режим 5 1/с в среднем возрастают с 2 до

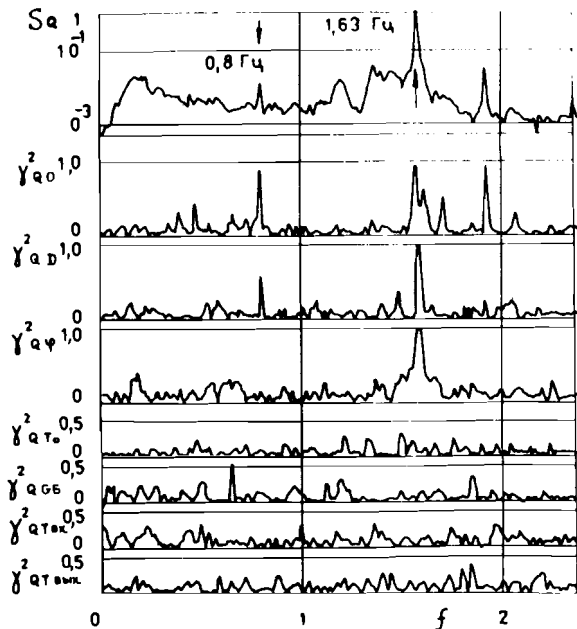


Рис. 7. Режим 5 1/с. Спектральная плотность флуктуаций энергии импульсов мощности  $S_Q$  при  $W = 2$  МВт и  $G = 85$  м<sup>3</sup>/ч.  $\gamma^2$  — функция когерентности для параметров:  $O, \Delta, \phi$  — осевых и фазовых колебаний ОПО и ДПО, периода вращения ОПО ( $T_O$ ), расхода натрия в петле Б первого контура ( $G_B$ ) и температуры натрия на входе ( $T_{вх}$ ) и выходе ( $T_{вых}$ ) из активной зоны.  $f$  — частота, Гц.

4,6%, а максимальные — с 14 до 35%. Кроме того, величина  $\eta_{no}^2$  увеличивается с 7 - 10 до 52 - 58%, а  $\eta_{Na}^2$  уменьшается с 83 до 17 - 21%. Таким образом, в режиме 5 1/с основным источником случайных возмущений мощности являются вибрации ПО: в основном за счет поперечных вибраций ПО на частоте ~ 1,63 Гц.

Фазовые колебания ПО в нормальных условиях вращения отражателей малы ( $\sigma_{\epsilon\phi} \leq 7 \cdot 10^{-8}$  ΔК/К), и их влиянием на шумы мощности можно пренебречь ( $\sigma_Q/\bar{Q} | \phi \leq 0,05\%$ ). Величина  $\sigma_Q/\bar{Q}$ , как оказалось, существенно зависит от частоты следования импульсов мощности (которая меняется от скорости вращения ПО) и от уровня мощности:

$$\sigma_Q/\bar{Q} = \begin{cases} 0,42 + 15,0 \Delta f, & W = 0,4 \text{ мВт}, \quad r = 0,83 \\ 1,27 + 12,4 \Delta f, & W = 1,0 \text{ мВт}, \quad r = 0,56 \\ 2,88 + 14,4 \Delta f, & W = 2,0 \text{ мВт}, \quad r = 0,76, \end{cases} \quad (6)$$

где  $[\sigma_Q/\bar{Q}] = \%$ ,  $\Delta f = f_0 - 4,8 \text{ с}^{-1}$ ;  $r$  — коэффициент корреляции между  $\Delta f$  и  $\sigma_Q/\bar{Q}$ . Выражение (6) можно представить в другом виде:

$$\sigma_Q/\bar{Q} = (\sigma_Q/\bar{Q})_0 + 13,9 \Delta f, \%$$

где

$$(\sigma_Q/\bar{Q})_0 = \begin{cases} 0,54, & W = 0,4 \text{ мВт} \\ 1,05, & W = 1,0 \text{ мВт} \\ 2,93, & W = 2,0 \text{ мВт}. \end{cases}$$

Наличие сильной зависимости  $\sigma_Q/\bar{Q}$  от  $f_0$  во многом объясняет нестабильность средних параметров реакторных шумов от запуска к запуску ПО\*. На изменение величины  $\sigma_Q/\bar{Q}$  относительно ее среднего уровня  $\langle \sigma_Q/\bar{Q} \rangle$  влияет и ряд других (кроме  $W, G$  и  $f_0$ ) факторов. Часть из них отмечена в табл. 2. Величина  $\Delta(\sigma_Q)_1 / \langle \sigma_Q \rangle$ , представленная в этой таблице, характеризует максимальный относительный разброс стандартных флуктуаций мощности, обусловленных  $i$ -м фактором.

\* Система стабилизации скорости вращения ПО позволяет менять среднее значение  $f_0$ .

Таблица 2

Режим 5 1/с. Максимальные относительные отклонения стандартных флуктуаций энергии импульсов мощности (%), обусловленные действием некоторых дестабилизирующих факторов

Изменение $f_0$ с 4,88 до 4,98 1/с	Нестабильность колебаний ПО	Отключение системы AP	Отключение системы стабилизации скорости ПО	Действие суммарных эффектов
+ 36	± 40	±18*	± 2**	±57***

\* Для  $W \geq 0,15$  МВт и  $G \geq 40$  м<sup>3</sup>/ч

\*\* За интервал времени, равный 30 минутам

\*\*\* Суммарное действие всех факторов определялось в предположении их статистической независимости

#### 4. СЛУЧАЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ РЕАКТИВНОСТИ

Значения стандартного отклонения полных  $\sigma_\epsilon$  и парциальных  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{по}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}$  эффектов реактивности в режиме 5 1/с представлены в табл. 3. Здесь  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{по}}$  и  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}$  — стандартные отклонения флуктуаций реактивности, связанные, соответственно, с натрием, детерминированным колебаниями ПО и с колебаниями ПО на основной частоте 1,6 Гц. В табл. 3 приведена также величина максимальных отклонений (размах) реактивности  $\Delta\epsilon_m$ . Эффекты реактивности определялись в следующей форме:

$$\sigma_\epsilon = \frac{\sigma_Q}{Q} \beta_{и}; \quad \Delta\epsilon_m = \ln(1 + \frac{\Delta Q}{Q}) \beta_{и};$$

$$\sigma_{\epsilon_i} = \frac{\sigma_Q}{Q} \beta_{и} \eta_i, \quad i = Na; по; 1,6,$$

где  $\eta_{1,6}^2 = \frac{\int S_Q(f) df}{\Delta f \sigma_Q^2}$  — относительная интенсивность пика

- 1,6 Гц в спектре  $S_Q$ .

Импульсная доля запаздывающих нейтронов принималась равной  $1,6 \cdot 10^{-4}$  (при  $f_0 = 5$  1/с) и  $1,9 \cdot 10^{-4}$  (при  $f_0 = 25$  1/с). Для эффектов реактивности, обусловленных совокупным действием вибраций ПО ( $\sigma_{\epsilon_{по}}$ ) и протеканием натрия через активную зону ( $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ ), использовалось соотношение  $\sigma_{\epsilon_{\Sigma}} = (\sigma_Q/Q) \beta_{и} \eta_{\Sigma}$  ( $\eta_{\Sigma}^2 = \eta_{Na}^2 + \eta_{по}^2$ ), справедливое при условии независимости "натриевых" шумов мощности от шумов, связанных с вибрациями ПО.

Таблица 3

Режим 5 1/с. Полные  $\sigma_\epsilon$ ,  $\Delta\epsilon_m$  и парциальные  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{по}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}$  случайные отклонения реактивности ( $10^{-6}$   $\Delta K/K$ ), полученные по данным табл. 1. (Пояснения см. в тексте)

W, МВт	G, м <sup>3</sup> /ч	$\sigma_\epsilon$	$\Delta\epsilon_m$	$\sigma_{\epsilon_{по}}$	$\sigma_{\epsilon_{Na}}$	$\sigma_{\epsilon_{\Sigma}}$	$\sigma_{\epsilon_{1,6}}$
0,4	100	3,5±0,8	25,2±3	2,0±	2,7±	3,3	2,0
1,0	80	4,6±1,6	29 ±3	3,0±0,8	3,2±0,6	4,4	3,0
1,0	80	4,6±0,3	29 ±2	3,3±1,9	2,6±1,3	4,2	3,2±2,0
1,25-2,0	72-100	7,8±3,2	47 ±25	6,1±3,1	3,4±2,3	7,0	5,9±2,5
1,8	85	10,9±0,2	55 ± 3	9,1±2,2	3,8±1,0	9,8	8,9±1,9
2,0	90	7,4±1,6	48 ± 2	5,6±1,5	3,0±1,0	6,4	5,5±1,3
2,0	80	7,2±0,3	42 ± 2	5,2±1,0	3,3±1,0	6,2	5,0±1,0
средние значения							
0,4+2,0	72+100	6,9±4	42 ± 35	5,1±2,8	3,5±2,9	6,2±2,2	4,8±2,9
		6,9±3	42 ± 20	5,1±3,3	3,5±2,7	6,2±3,0	4,8±2,8



Для получения спектральной плотности шумов реактивности  $S_\rho$  последняя вычислялась с учетом источника запаздывающих нейтронов<sup>5/</sup>. Значение реактивности  $\Delta\rho$ , соответствующее текущему  $n$ -му импульсу мощности, вычислялось в виде отклонения относительной реактивности (в долях  $\beta_n$ ) от значения  $\bar{\rho}$ , усредненного по 1024 импульсам (значение  $\bar{\rho}$  обычно составляло  $10^{-5} \div 10^{-4} \beta_n$ ):

$$\Delta\rho_n = \ln(Q_n/S_n) - \ln(Q/S),$$

где  $S_n$  — интенсивность источника нейтронов перед началом развития  $n$ -го импульса мощности. Связь между  $Q_n$  и  $\rho_n$  принималась в виде  $Q_n = S_n A \exp(\rho_n)$ , где  $A$  — коэффициент пропорциональности. Для расчета  $S_n$  использовались шесть групп запаздывающих нейтронов. Анализ показал, что оценки реактивности, вычисленные по спектрам  $S_Q$  и величине  $\sigma_Q/Q$  с погрешностью  $\pm 6\%$ , совпадают с точным решением, кроме оценки  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ , которая оказывается завышенной на 20%.

Типичный спектр флуктуаций реактивности (в режиме 5 1/с) представлен на рис. 8. Зависимость полных  $\sigma_\epsilon$  и парциальных  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$  эффектов реактивности от мощности реактора приведена на рис. 9, 10. Для того, чтобы в колебаниях энергии импульсов мощности выделить эффекты, связанные только с изменением уровня мощности, измерения проводились при фиксированном значении  $f_0$  ( $f_0 = 4,90$  1/с), и для уменьшения дисперсии, обусловленной случайным изменением динамических параметров ПО, величина  $\sigma_Q/Q$  усреднялась по многим измерениям.

На рис. 9 и 10 приведены также эффекты внешней реактивности  $\sigma_{\epsilon_{no}}^*$  от вибраций ПО, оцененные по данным измерений осевых колебаний отражателей. Связь между  $\sigma_{\epsilon_{no}}^*$  и осевыми колебаниями отражателей принималась в

$$\text{виде: } \sigma_{\epsilon_{no}}^* = B \frac{dK}{dX} \sigma_X, \text{ где}$$

$dK/dX$  — изменение реактивности при осевом сдвиге отражателей,  $\sigma_X$  — стандартное отклонение отражателей,  $B$  — коэффициент пропорциональности, учитывающий систематичес-

Рис. 8. Режим 5 1/с. Спектральная плотность флуктуаций реактивности  $S_\rho$  при некоторых значениях средней мощности.  $G = 85 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $f$  — частота, Гц.

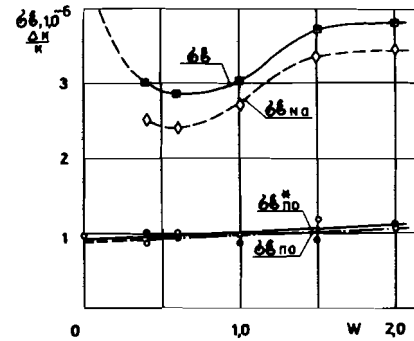
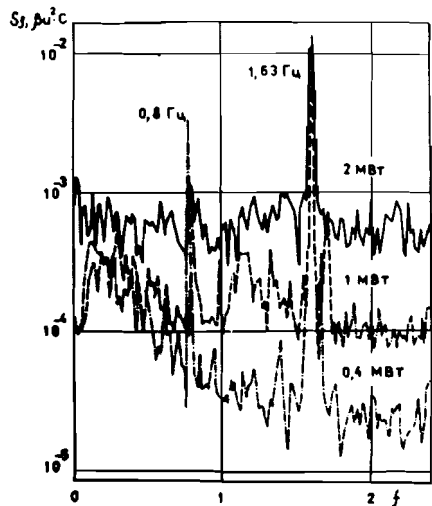
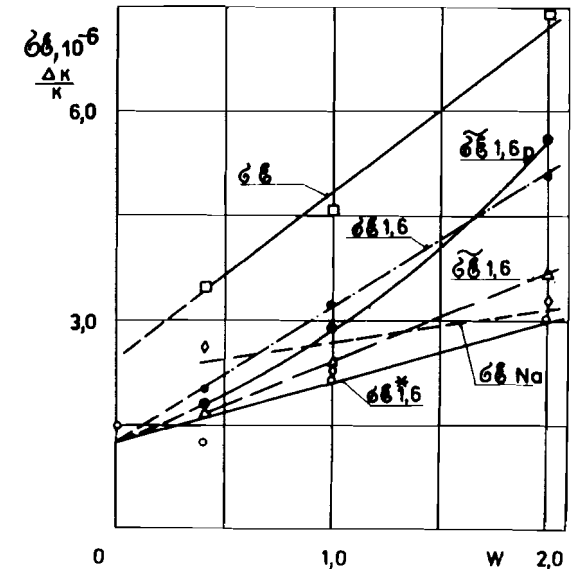


Рис. 9. Режим 25 1/с. Полные  $\sigma_\epsilon$  и парциальные  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{no}}$  стандартные отклонения реактивности как функция  $W$  (МВт).  $\sigma_{\epsilon_{no}}^*$  — стандартные отклонения внешней реактивности от вибраций ПО, оцененные по данным осевых отклонений ОПО.  $G = 100 - 110 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Рис. 10. Режим 5 1/с. Стандартные отклонения полных  $\sigma_\epsilon$  и парциальных  $\sigma_{\epsilon_{Na}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}$  флуктуаций реактивности как функция  $W$  (МВт).  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$  — флуктуации внешней реактивности на частоте 1,6 Гц, оцененные по данным поперечных вибраций ПО.  $\bar{\sigma}_{\epsilon_{1,6}}$  — величина  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$ , умноженная на передаточную функцию реактора при измеренных параметрах мощностной обратной связи.  $\bar{\sigma}_{\epsilon_{1,6}p}$  — расчетная флуктуация с подобранным значением  $K_T, G = 85 - 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ .



кие погрешности определения  $dK/dX$  (10%), калибровки датчиков перемещений отражателей (~10%) и различие колебаний ПО относительно активной зоны и датчика (как показали корреляционные измерения, это различие должно проявляться в виде постоянного множителя). Величина  $dK/dX$ , равная  $4 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^{-1}$  (для ОПО) и  $1 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^{-1}$  (для ДПО), определена во время физического пуска, а коэффициент  $B$  определен в независимых измерениях на мощности менее 0,4 МВт из соотношений  $\sigma_{\epsilon_{no}} = \sigma_{\epsilon_{no}}^*$ ,  $\sigma_{\epsilon_{1,6}} = \sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$  и равен 0,77 (при  $f_0 = 5$  1/с) и 0,67 (при  $f_0 = 25$  1/с)\*. В режиме 25 1/с

\* Для нижних датчиков положения ПО.

учитывались только вибрации ОПО:  $\sigma_{\epsilon_{\text{но}}}^* = B \frac{dK}{dX} |_{\text{опо}} \sigma_{X_0}$  (ДПО,

заторможенный у активной зоны, находился вне датчика осевых перемещений)\*. В режиме 5 1/с выделена основная компонента реактивности на частоте 1,6 Гц  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$  (в спектрах  $S_{X_0}$ ,  $S_{X_d}$  и  $S_Q$  эта компонента доминирует)\*\* . Величина  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$  определялась из выражения:

$$\sigma_{\epsilon_{1,6}}^* = B \left[ \sum_i \left( \frac{dK}{dX} |_{\text{опо}} \eta_{1,6} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad i = \text{ОПО, ДПО};$$

$\eta_{1,6}^2$  — относительная интенсивность линии 1,6 Гц в спектрах поперечных колебаний ПО. Все экспериментальные данные аппроксимировались линейной зависимостью от  $W$  (за исключением зависимости  $\sigma_{\epsilon_{\text{Na}}}$  в режиме 25 1/с, которая существенно нелинейна; см. рис. 9). Экстраполированные в точку  $W = 0$  эффекты реактивности от вибраций ПО, определенные по флуктуациям мощности ( $\sigma_{\epsilon_{\text{но}}}$ ,  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}$ ), практически совпадают с эффектами внешней реактивности, полученными по данным измерения осевых колебаний ПО ( $\sigma_{\epsilon_{\text{но}}}^*$ ,  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$ ).

В режиме 5 1/с (рис. 10) различие между  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*(W)$  и  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}(W)$  статистически значимо и не объясняется разбросом измеряемых параметров. Можно предположить, что механизм этого явления связан с мощностной обратной связью. Возможность увеличения флуктуаций мощности реактора ИБР-2 при увеличении  $W$  теоретически показана в работах /6,7/. Однако, согласно, например, расчетной модели /6/, амплитудно-частотная характеристика реактора на частоте 1,63 Гц  $H(1,6) = \sigma_{\epsilon_{1,6}} / \sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$  должна при изменении  $W$  от 0 до 2 МВт возрасти всего в 1,24 раза, в то время как ее наблюдаемое возрастание равно 1,7\*\*\*. Различие можно объяснить в рамках модели /6/ следующим образом. При фиксированной частоте колебаний внешней реактивности  $f_p$  (в данном случае  $f_p = f_0/3$ ) единственным параметром, определяющим величину  $H(1,6)$ , является безразмерный параметр  $\tau = (1 + K_{\mu} K_T Q_0) \phi$ , где (сохранены обозначения, применяемые в работе /6/)  $K_{\mu} = \beta_{\mu}^{-1}$ ,  $K_{\mu}$  — температурный коэффициент реактивности,  $Q_0$  — средняя энергия импульсов мощности (в единицах температуры),  $\phi = \exp(-a/f_0)$ ,  $a$  — константа тепловой инерционности активной зоны. Значения параметров  $\beta_{\mu}$ ,  $K_T$  и  $a$  определены

экспериментально:  $\beta_{\mu} = 1,6 \cdot 10^{-4}$  ( $f_0 = 5$  1/с),  $K_T = (5-6) \cdot 10^{-6}$  1/град,  $a = 0,1$  с<sup>-1</sup> ( $\phi = 0,98$ ). Коэффициент  $K_T$ , соответствующий мощностному коэффициенту реактивности  $K_Q = -0,01 \beta_{\mu}$ , был определен в динамических измерениях совместно с  $a$  и справедлив на интервалах времени более  $\sim 2$  с /5/. Анализ показывает, что в области малых времен, сравнимых с периодом следования импульсов мощности ( $\Delta t \leq 0,2$  с), значения  $K_T$  и  $a$  могут отличаться от измеренных.

Оценим эти коэффициенты из анализа флуктуаций мощности. Коэффициент  $a$  слабо влияет на параметр  $\tau$  и соответственно на величину  $H(1,6)$ , поэтому его возможным отличием от измеренного значения в первом приближении можно пренебречь\*. Приняв  $a = 0,1$  с<sup>-1</sup> и варьируя при расчете  $H(1,6)$  значение  $K_T$ , получим, что наилучшее согласие с экспериментальной зависимостью  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}(W)$  имеет зависимость  $\sigma_{\epsilon_{1,6}p}$  (см. рис. 10). Значение  $K_T$  в этом случае оказалось в 2 раза больше измеренного.

В режиме 25 1/с зависимости  $\sigma_{\epsilon_{\text{но}}}(W)$  и  $\sigma_{\epsilon_{\text{но}}}^*(W)$  практически совпадают ( $H = \sigma_{\epsilon_{\text{но}}} / \sigma_{\epsilon_{\text{но}}}^* \approx 1$ , см. рис. 9). Это согласуется с теоретическими выводами обеих моделей /6,7/. Так, в модели /6/ величина  $Q_0$  в пять раз меньше, чем в режиме 5 1/с, и эффекты обратной связи не проявляются. Для интерпретации экспериментальных данных по модели /7/ отметим, что основной вклад в  $\sigma_{\epsilon_{\text{но}}}(W)$  вносят колебания реактивности на частоте 1,8 Гц (см. рис. 6, 90%), на которой расчетная передаточная характеристика реактора при  $0,4 \leq W \leq 2$  МВт близка к единице.

## 5. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

5.1. Флуктуации мощности реактора ИБР-2 малы, и в период энергетического пуска (1980-1984 гг.) в среднем составляли в режиме 5 1/с  $4,3_{-2}^{+3}$  % (стандартные) и  $30_{-13}^{+22}$  % (максимальные). Соответственно в режиме 25 1/с — 2 и 25%.

5.2. Основным источником случайных возмущений мощности в режиме 5 1/с являются вибрации ПО (52-58%), а в режиме 25 1/с — протекание натрия через активную зону (83%).

5.3. Случайные неконтролируемые эффекты реактивности не превышали  $(42_{-20}^{+35}) \cdot 10^{-6}$   $\Delta K/K$ .

5.4. Величина и структура случайных колебаний реактивности (мощности) в основном зависят от режима вращения ПО, расхода натрия и от уровня средней мощности.

\* Эффекты реактивности от вибраций ДПО даже в режиме 50 1/с малы, а в режиме 25 1/с ими практически полностью можно пренебречь.

\*\* Величина  $\sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$  пропорциональна амплитуде внешней реактивности  $\epsilon_0$  на частоте 1,6 Гц:  $\epsilon_0^* = \sqrt{2} \sigma_{\epsilon_{1,6}}^*$ .

\*\*\* Расчетная модель /7/ для величины  $H(1,6)$  также дает заниженный по сравнению с экспериментальным результат.

\* Если только истинное значение  $a$  не отличается от измеренного по крайней мере на порядок.

5.5. Возрастание шумов в 1,7 раза при изменении мощности в режиме 5 1/с от 0 до 2 МВт отличается от расчетного, равного 1,24. Качественное объяснение получено в рамках модели  $\gamma^6$ , если принять, что значение мощностного коэффициента в быстрых процессах в 2,6 раза больше измеренного.

Автор благодарит В.В.Мелихова, А.Д.Рогова и А.С.Савватеева за помощь в проведении измерений, Е.П.Шабалина за постоянный интерес к данной теме и полезные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вагов В.А. и др. Сообщение ОИЯИ. P13-82-533, Дубна, 1982.
2. Пепёлышев Ю.Н., Рогов А.Д. Сообщение ОИЯИ, P13-84-73, Дубна, 1984.
3. Пепёлышев Ю.Н., Хан Пхун Ги. Сообщение ОИЯИ, 13-85-234, Дубна, 1985.
4. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. М., Атомиздат, 1976.
5. Пепёлышев Ю.Н., Попов А.К., Рогов А.Д. Сообщение ОИЯИ, P13-83-471, Дубна, 1983.
6. Шабалин Е.П., АЭ, 1986, т.61, вып. 6.
7. Попов А.К. АЭ, 1987, т.62, вып. 3.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 января 1988 года.

#### WILL YOU FILL BLANK SPACES IN YOUR LIBRARY?

You can receive by post the books listed below. Prices — in US \$, including the packing and registered postage.

D13-84-63	Proceedings of the XI International Symposium on Nuclear Electronics. Bratislava, Czechoslovakia, 1983.	12.00
E1,2-84-160	Proceedings of the 1983 JINR-CERN School of Physics. Tabor, Czechoslovakia, 1983.	6.50
D2-84-366	Proceedings of the VII International Conference on the Problems of Quantum Field Theory. Alushta, 1984.	11.00
D1,2-84-599	Proceedings of the VII International Seminar on High Energy Physics Problems. Dubna, 1984.	12.00
D17-84-850	Proceedings of the III International Symposium on Selected Topics in Statistical Mechanics. Dubna, 1984 (2 volumes).	22.00
	Proceedings of the IX All-Union Conference on Charged Particle Accelerators. Dubna, 1984. (2 volumes)	25.00
D11-85-791	Proceedings of the International Conference on Computer Algebra and Its Applications in Theoretical Physics. Dubna, 1985.	12.00
D13-85-793	Proceedings of the XII International Symposium on Nuclear Electronics, Dubna, 1985.	14.00
D4-85-851	Proceedings of the International School on Nuclear Structure Alushta, 1985.	11.00
D1,2-86-668	Proceedings of the VIII International Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 1986 (2 volumes)	23.00
D3,4,17-86-747	Proceedings of the V International School on Neutron Physics. Alushta, 1986.	25.00
D9-87-105	Proceedings of the X All-Union Conference on Charged Particle Accelerators. Dubna, 1986 (2 volumes)	25.00
D7-87-68	Proceedings of the International School-Seminar on Heavy Ion Physics. Dubna, 1986.	25.00
D2-87-123	Proceedings of the Conference "Renormalization Group-86". Dubna, 1986.	12.00
D4-87-692	Proceedings of the International Conference on the Theory of Few Body and Quark-Hadronic Systems. Dubna, 1987.	12.00
D2-87-798	Proceedings of the VIII International Conference on the Problems of Quantum Field Theory. Alushta, 1987.	10.00
D14-87-799	Proceedings of the International Symposium on Muon and Pion Interactions with Matter. Dubna, 1987.	13.00

Orders for the above-mentioned books can be sent at the address:  
Publishing Department, JINR  
Head Post Office, P.O.Box 79 101000 Moscow, USSR