

P13-2012-16

Ю. Н. Пепельшев, Л. А. Тайыбов, А. А. Гарибов\*,  
Р. Н. Мехтиева\*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА  
ПАРАМЕТРОВ КИНЕТИКИ РЕАКТОРА ИБР-2М  
ПО СТОХАСТИЧЕСКИМ ШУМАМ МОЩНОСТИ**

Направлено в журнал «Атомная энергия»

---

\*Институт радиационных проблем Национальной академии наук  
Азербайджана, Баку

Пепельшев Ю. Н. и др.

P13-2012-16

Экспериментальная оценка параметров кинетики  
реактора ИБР-2М по стохастическим шумам мощности

Приведены результаты экспериментального исследования стохастических флуктуаций энергии импульсов реактора ИБР-2М, по которым получены некоторые параметры кинетики реактора. На разных уровнях средней мощности регистрировалась последовательность значений энергии импульсов с вычислением параметров распределения. В качестве детектора нейтронов использовалась ионизационная камера с бором, установленная вблизи активной зоны. Результаты исследований позволили оценить среднее время жизни мгновенных нейтронов  $\tau = (6,53 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$  с, абсолютную мощность реактора и интенсивность источника спонтанных нейтронов  $S_{\text{сп}} \leq (6,72 \pm 0,12) \cdot 10^6$  с<sup>-1</sup>. Показано, что экспериментальные результаты близки к расчетным.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2012

Pepelyshev Yu. N. et al.

P13-2012-16

Experimental Estimations of the Kinetics Parameters  
of the IBR-2M Reactor by Stochastic Noises

Experimental investigations of stochastic fluctuations of pulse energy of the IBR-2M reactor have been carried out which allowed us to obtain some of the parameters of the reactor kinetics. At different levels of average power a sequence of values of pulse energy was recorded with the calculation of the distribution parameters. An ionization chamber with boron installed near the active zone was used as a neutron detector. The research results allowed us to estimate the average lifetime of prompt neutrons  $\tau = (6.53 \pm 0.2) \cdot 10^{-8}$  s, absolute power of the reactor and intensity of the source of spontaneous neutrons  $S_{\text{sp}} \leq (6.72 \pm 0.12) \cdot 10^6$  s<sup>-1</sup>. It was shown that the experimental results are close to the calculated ones.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2012

## **ВВЕДЕНИЕ**

Для модернизированного реактора ИБР-2М, так же как и для ИБР-2, имеются две основные причины, вызывающие флуктуации энергии импульсов. Это стохастический характер процесса деления и размножения нейтронов и флуктуации внешней реактивности. Стохастический характер шумов доминирует в колебаниях мощности при малой интенсивности нейтронов. Колебания внешней реактивности вызывают флуктуации импульсов на любом уровне мощности. При номинальной мощности 2 МВт флуктуации энергии импульсов значительны (до  $\pm 20\%$ ), при малой мощности менее 1 Вт флуктуации могут достигать 100%. Флуктуации мощности отрицательно влияют на динамику реактора, процесс его регулирования, пуска, на работу экспериментальной аппаратуры и т. д. С другой стороны, наличие больших флуктуаций мощности в реакторе ИБР-2 имеет свои плюсы. Исследование флуктуаций при большом уровне мощности позволяет оценить источник возмущений внешней реактивности и диагностировать динамику его изменения, что напрямую связано с обеспечением безопасной работы реактора. Исследование стохастических флуктуаций позволяет оценить некоторые ядерно-физические параметры активной зоны, такие как среднее время жизни мгновенных нейтронов, абсолютный уровень мощности и т. д. В статье представлены результаты исследования стохастических шумов энергии импульсов реактора ИБР-2М и связь параметров шумов с параметрами кинетики.

### **1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО РЕАКТОРА ИБР-2М**

Импульсный исследовательский реактор на быстрых нейтронах ИБР-2М номинальной мощностью 2 МВт является модернизированной версией реактора ИБР-2, остановленного в 2006 г. в связи с выработкой ресурса [1].

В процессе модернизации были полностью заменены активная зона с корпусом аппарата, стационарные отражатели, органы регулирования и аварийной защиты.

Активная зона ИБР-2М отличается от активной зоны ИБР-2 меньшим размером и отсутствием центрального канала. Топливные элементы ИБР-2М

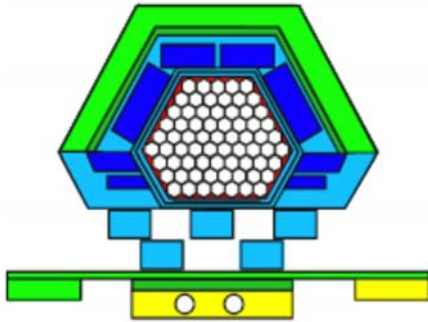


Рис. 1. Активная зона ИБР-2М

Уровень реактивности ИБР-2М регулируется органами системы управления и защиты, представляющими собой перемещаемые вольфрамовые блоки в матрице стационарных отражателей. Схематически активная зона ИБР-2М показана на рис. 1.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ СВЯЗИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ С ПАРАМЕТРАМИ КИНЕТИКИ

Расчет реакторов и анализ большинства реакторных экспериментов основаны на уравнении переноса нейтронов, в котором под плотностью нейтронов подразумевается ее среднее значение, а статистическими флуктуациями плотности обычно пренебрегают. Фактически все элементарные процессы, описывающие рождение, жизнь и гибель нейтрона в реакторе, существенно стохастичны. В реакторе типа ИБР-2 стохастические флуктуации числа нейтронов, образующихся в единичном акте деления, приводят к флуктуациям энергии всплеск. В некоторых случаях, при малой интенсивности источника нейтронов, импульс мощности может вообще не развиваться, и его энергия будет равна нулю. Такая сильная зависимость энергии импульсов ИБР-2 от фундаментальных стохастических свойств генерации нейтронов дает возможность получить информацию о нейтронно-физических параметрах реактора, входящих в уравнения кинетики:  $\tau$ ,  $\beta_{\text{эф}}$ ,  $S$  и т. д. Ниже изложены основные экспериментально определяемые соотношения для энергии импульсов ИБР-2М и их связь с параметрами кинетики.

Наиболее важная характеристика импульсного реактора — это относительная дисперсия флуктуаций энергии импульсов  $(\sigma_Q/\bar{Q})^2$ , которая

идентичны топливным элементам ИБР-2. Топливом служат таблетки втулочного типа из  $\text{PuO}_2$ . Теплоносителем в реакторе является жидкий натрий.

Для создания нейтронных импульсов используется модулятор реактивности, работавший на реакторе ИБР-2 с 2004 г. Модулятор реактивности состоит из основного (ОПО) и дополнительного (ДПО) подвижных отражателей. Ротор ОПО представляет собой лопасть с тремя «зубьями», а ДПО — лопасть с двумя «зубьями».

согласно [2] равна

$$(\sigma_Q/\bar{Q})^2 = \Delta_{\text{ст}}^2(1 + \delta_0^2) + \delta_0^2, \quad (1)$$

где  $\Delta_{\text{ст}}^2 = \frac{\nu \cdot \Gamma}{2S\tau}$  — относительная дисперсия стохастических флуктуаций;  $\delta_0^2$  — относительная дисперсия шумов, обусловленная флуктуациями внешней реактивности;  $\Gamma = 0,815$  и  $\nu$  — дисперсия числа мгновенных нейтронов и среднее число нейтронов в одном акте деления соответственно;  $\tau$  — время жизни мгновенных нейтронов в активной зоне;  $S = S_{\text{сп}} + S_{\text{зап}}$  — интенсивность постоянно действующего во время импульса источника нейтронов,  $S_{\text{сп}}$  — интенсивность спонтанных нейтронов и нейтронов от  $(\alpha, n)$ -реакций на кислороде  $^{18}\text{O}$ , входящем в состав оксидного топлива ИБР-2М;  $S_{\text{зап}} = \beta_{\text{эф}} \cdot \nu \cdot F$ ,  $\beta_{\text{эф}}$  — интенсивность и эффективная доля запаздывающих нейтронов соответственно,  $F = L \cdot W$  — скорость деления,  $L$  — число делений в секунду на 1 Вт,  $W$  — абсолютная мощность реактора. Для компоненты стохастических шумов можно записать

$$\Delta_{\text{ст}}^2 = \frac{\nu \cdot \Gamma}{2\tau(S_{\text{сп}} + \beta_{\text{эф}} \cdot \nu \cdot F)}, \quad (2)$$

где интенсивность источника нейтронов  $S$  представлена в виде суммы спонтанных и запаздывающих нейтронов. При условии  $\delta_0^2 \ll 1$ , что выполняется на практике при нормальной работе реактора, зависимость (1) согласно [3] можно представить в виде

$$(\sigma_Q/\bar{Q})^2 = \delta_0^2 + \Delta_{\text{ст}}^2 \approx \delta_0^2 + \frac{a}{W}, \quad [W] = \text{Вт}. \quad (3)$$

Таким образом, имея экспериментальную зависимость дисперсии шумов в виде (3), можно согласно (2) определить любые параметры из  $\tau$ ,  $\beta_{\text{эф}}$ ,  $\nu$ ,  $F$ ,  $S$ , если известны остальные. Численные значения некоторых параметров, входящих в выражения (2) и (3), представлены в таблице.

Дополнительную информацию о стохастических свойствах реакторного шума дает плотность распределения энергии импульсов  $P_T(n)$ , где  $n$  — число нейтронов в импульсе. Распределение числа нейтронов в реакторе во время вспышки согласно [4] соответствует отрицательно-биномиальному распределению Поля

$$P_T(n) = P_T(0) \left( \frac{\bar{n}}{1 + \Delta_{\text{ст}}^2 \bar{n}} \right)^n \frac{(1 + \Delta_{\text{ст}}^2)(1 + 2\Delta_{\text{ст}}^2) \dots [1 + (n-1)\Delta_{\text{ст}}^2]}{n!}, \quad (4)$$

где  $\bar{n}$  — среднее число нейтронов в импульсе. В асимптотическом случае  $\bar{n} \gg 1$  и  $\Delta_{\text{ст}}^2 \bar{n} \gg 1$  (эти неравенства выполняются практически при любом уровне мощности) распределение (4) переходит в стандартное распределение

$$P_T(n)dn = \left( \frac{n}{\Delta_{\text{ст}}^2 \bar{n}} \right)^{1/\Delta_{\text{ст}}^2 - 1} \exp \left\{ -\frac{n}{\Delta_{\text{ст}}^2 \bar{n}} \right\} \frac{dn}{\Delta_{\text{ст}}^2 \bar{n} \Gamma(1/\Delta_{\text{ст}}^2)}, \quad (5)$$

**Численные значения используемых величин**

Значение параметра	Название параметра
$\Gamma = 0,815 \pm 0,017$	Дисперсия числа мгновенных нейтронов при делении. Параметр Дайвена
$L = 3,21 \cdot 10^{10}$ дел./с · Вт	Число делений в секунду на 1 Вт
$\beta_{эф} = 0,00216 \pm 0,00007$	Расчетное значение эффективной доли запаздывающих нейтронов
$\tau = (6,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}$ с	Расчетное значение времени жизни мгновенных нейтронов в активной зоне
$S_{сп} = 7,1 \cdot 10^6$ с <sup>-1</sup>	Расчетное значение интенсивности спонтанных нейтронов и нейтронов от $(\alpha, n)$ -реакций на <sup>18</sup> O
$S_{сп} = (5,3 \pm 0,20) \cdot 10^6$ см <sup>-2</sup> · с <sup>-1</sup>	Экспериментальная оценка интенсивности спонтанных нейтронов, полученная при загрузке активной зоны
$E_f = 195$ МэВ	Энергия, выделяющаяся на один акт деления в активной зоне

где  $\Gamma(x)$  — гамма-функция. Обозначив  $X = \frac{n}{\Delta_{ct}^2 \bar{n}}$ , выражение (5) запишем в виде

$$P_T(X) dX = \frac{(X)^{1/\Delta_{ct}^2 - 1}}{\Gamma(1/\Delta_{ct}^2)} e^{-X} dX. \quad (6)$$

При «слабом» источнике ( $S\tau \ll 1$ ) распределение (6) резко асимметрично со сдвигом в сторону малых интенсивностей импульсов. Для «сильного» источника ( $S\tau \gg 1$ ) распределение величины  $n/\bar{n}$  стремится к гаус-

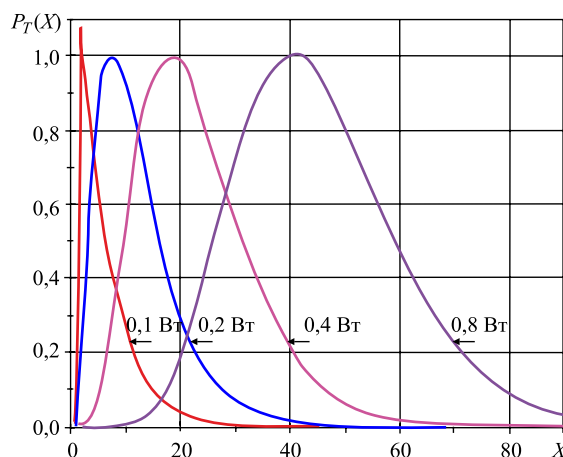


Рис. 2. Расчетная плотность распределения энергии импульсов ИБР-2М

сову. Условие «сильного» источника выполняется при средней мощности больше 1 Вт. Для примера на рис. 2 приведена расчетная плотность распределения энергии импульсов модернизированного реактора ИБР-2 для некоторых уровней средней мощности.

### 3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Задача экспериментального исследования стохастических шумов для оценки параметров кинетики ИБР-2 состоит в накоплении серии последовательных значений энергии импульсов на различных уровнях средней мощности. Энергия импульсов регистрировалась с помощью специально созданной для этой цели измерительной системы. В качестве детектора нейтронов использовалась камера КНК-53М, установленная вблизи активной зоны непосредственно у замедлителя со стороны первого горизонтального пучка нейтронов. После накопления 8192 последовательных значений энергии импульсов данные записывались в файл для дальнейшей обработки. Использовалась процедура статистического анализа временных рядов. Вычислялись плотность распределения энергии импульсов и параметры этого распределения. Флуктуации энергии импульсов исследовались в диапазоне средней мощности от 0,01 Вт до 1,5 кВт. В зависимости от средней мощности реактора в источнике нейтронов, «зажигающих» импульс мощности, могут доминировать спонтанные или запаздывающие нейтроны. Для реактора ИБР-2М оценки граничной мощности были получены с учетом импульсного коэффициента передачи ( $M$ ), по которому можно определить практическую реализуемость эксперимента, а именно, как далеко от критического состояния на мгновенных нейтронах находится реактор при выбранной для эксперимента средней мощности. Энергия импульса мощности реактора ИБР-2М согласно [2] выражается формулой

$$E = M(S_{\text{сп}} + S_{\text{зап}}), \quad (7)$$

где  $M$  — импульсный коэффициент передачи (импульсное умножение);  $S_{\text{сп}}$ ,  $S_{\text{зап}}$  — нормированная интенсивность источника мгновенных нейтронов и источника запаздывающих нейтронов соответственно,  $S_{\text{сп}} + S_{\text{зап}}$  — суммарная нормированная интенсивность источников нейтронов перед импульсом реактивности. Импульсный коэффициент передачи  $M$  является нелинейной функцией от максимума реактивности в импульсе  $\varepsilon_m$  (см. рис. 3).

Значения  $M = M^0$  и  $\varepsilon_m = \varepsilon_m^0$ , соответствующие импульсной критичности, зависят от доли постоянного источника нейтронов относительно источника запаздывающих нейтронов  $S_{\text{зап}}/S_{\text{сп}}^0$ , т. е. от средней мощности реактора. Так, при  $S_{\text{зап}}/S_{\text{сп}}^0 = 2,5$  (что соответствует средней мощности реактора  $\bar{P} \approx 0,01$  Вт)  $M^0 = 0,0445$  и  $\varepsilon_m^0 = 0,00076$ . При  $S_{\text{зап}}/S_{\text{сп}}^0 = 0,25$  (т. е. при

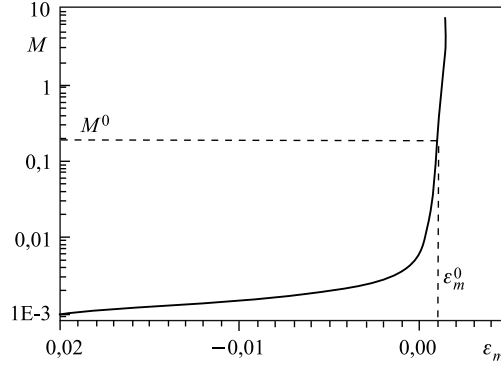


Рис. 3. Импульсный коэффициент передачи  $M$  как функция максимальной реактивности в импульсе  $\varepsilon_m$

средней мощности  $\sim 0,1$  Вт)  $M^0 = 0,151$  и  $\varepsilon_m^0 = 0,00098$ . При мощностях, превышающих 1 Вт,  $S_{\text{зап}}/S_{\text{сп}}^0 \approx 0$ . Для таких мощностей  $M^0 = 0,193$  и  $\varepsilon_m^0 = 0,00102$ , как и для штатного режима. Отсюда с учетом (2) определена граница мощностей для экспериментального изучения флуктуаций энергии импульсов в областях спонтанного и запаздывающего источников нейтронов:

$$\begin{aligned} \text{спонтанные:} \quad S &\approx S_{\text{сп}} && \text{при } W < 0,01 \text{ Вт;} \\ \text{запаздывающие:} \quad S &= S_{\text{зап}} = \beta_{\text{эф}} \cdot \nu \cdot F && \text{при } W > 1 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Наблюдаемые относительные флуктуации энергии импульсов в зависимости от мощности равны:

$$(\sigma_Q/\bar{Q})^2 = \delta_0^2 + M; \quad M = \frac{\nu \cdot \Gamma}{2\tau S_{\text{сп}}} \quad \text{— } W < 0,01 \text{ Вт — область спонтанных нейтронов;}$$

$$(\sigma_Q/\bar{Q})^2 = \delta_0^2 + \frac{C}{W}; \quad C = \frac{\Gamma}{2\tau\beta_{\text{эф}}L} \quad \text{— } W > 1 \text{ Вт — область запаздывающих нейтронов.}$$

Значения  $M$  и  $C = d(\sigma_Q/\bar{Q})^2/d(1/W)_{1/w \rightarrow 0}$  — экспериментально определяемые величины.

#### 4. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчетная и экспериментальная зависимости относительной дисперсии флуктуаций энергии импульсов  $(\sigma_Q/\bar{Q})^2$  от обратной мощности  $W^{-1}$  приведены на рис. 4. В расчетной зависимости использованы данные таблицы.



При мощности  $W \geq 1$  Вт относительную дисперсию можно аппроксимировать линейной зависимостью

$$(\sigma_Q/\bar{Q}^2) \approx \delta_0^2 + \frac{0,090 \pm 0,005}{W}, \quad (8)$$

где  $\delta_0^2 \approx 2,49 \cdot 10^{-3}$ ;  $W$ , Вт (см. рис. 4, б). Как видно из рис. 4, расчетная зависимость практически совпадает с измеренной. Незначительное расхождение в сторону увеличения экспериментального значения дисперсии связано с увеличением разброса импульсов за счет медленного изменения мощности в процессе измерений. Частично это вызвано неточностью установки средней мощности и действиями оператора реактора, направленными на поддержание средней мощности в процессе измерений. На рис. 5 показана измеренная плотность распределения энергии импульсов на некоторых уровнях средней энергии

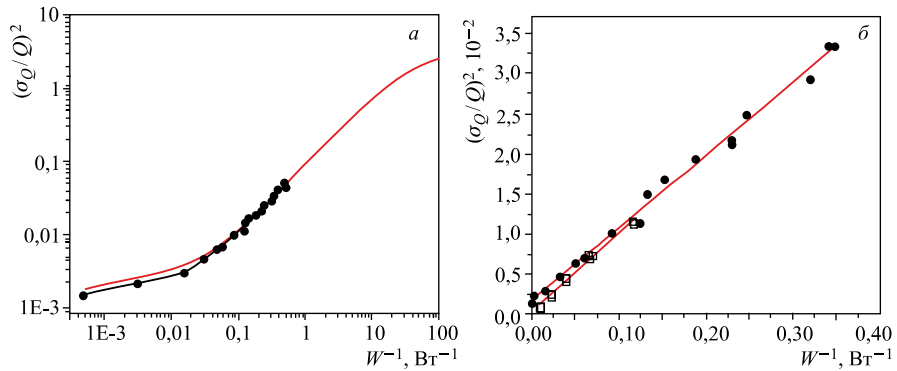


Рис. 4. Зависимость относительной дисперсии энергии импульсов реактора ИБР-2М (●) и ИБР-2 от обратной мощности  $W^{-1}$ , Вт $^{-1}$ . Сплошная линия на рис. а — расчет, на рис. б показана линейная аппроксимация данных

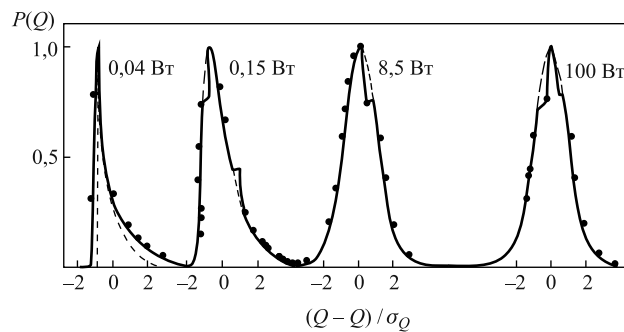


Рис. 5. Нормированная плотность распределения энергии импульсов на некоторых уровнях средней мощности. Пунктирная линия — аппроксимация по формуле (5)

мощности. Там же приведена расчетная форма распределения, аппроксимирующая экспериментальные точки по свободному параметру средней мощности.

## 5. ОЦЕНКА СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ( $\tau$ )

Выше показано, что при средней мощности реактора  $W > 1$  Вт относительную дисперсию флуктуаций энергии импульсов можно представить в виде  $(\sigma_Q/\bar{Q})^2 = \delta_0^2 + C/W$ , где

$$C = \frac{\Gamma}{2\tau\beta_{эф}L} = 0,090 \pm 0,005, \quad (9)$$

$\Gamma$ ,  $W$ ,  $L$  — параметры, численные значения которых приведены в таблице,  $\delta_0^2 = 2,49 \cdot 10^{-3}$  — шумы от колебаний внешней реактивности. Из (9) получим значение комплекса  $(\tau \cdot \beta_{эф}) = (1,41 \pm 0,2) \cdot 10^{-10}$  с. Если зафиксировать расчетное значение эффективной доли запаздывающих нейтронов равным  $\beta_{эф} = 0,00216 \pm 0,00007$ , поскольку в данном случае расчетная величина  $\beta_{эф}$  для ИБР-2М совпадает с измеренной для ИБР-2 [3], т. е. достаточно надежна, то получим  $\tau = (6,53 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$  с. Расчетное значение  $\tau$  равно  $(6,50 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}$  с.

## 6. ОЦЕНКА АБСОЛЮТНОЙ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ( $W$ )

Исследование флуктуации энергии импульсов ИБР-2 позволяет определить также абсолютную мощность реактора. При мощности 1–100 Вт, как следует из (3), флуктуации энергии импульсов обратно пропорциональны значению скорости делений в реакторе:

$$(\sigma_Q/\bar{Q}^2) = \delta_0^2 + \frac{\Gamma}{2\tau\beta_{эф}F}. \quad (10)$$

Для  $F$  можно записать  $W$  (Вт) =  $aN = F/L$ , где  $a$  — коэффициент перевода показаний детектора в мощность,  $N$  — скорость счета или амплитуда импульса тока камеры. Тогда

$$(\sigma_Q/\bar{Q}^2) = \delta_0^2 + \frac{P}{N}, \quad (11)$$

$P = \frac{\Gamma}{2a\beta_{эф}L\tau}$ ,  $W$  (Вт) =  $\frac{\Gamma}{2\beta_{эф}\tau PL}N$ . Все параметры в последнем выражении определены выше. Линейная аппроксимация зависимости (11) от  $(1/N)$  имеет вид

$$(\sigma_Q/\bar{Q}^2) = 1,7 \cdot 10^{-3} + \frac{0,029 \pm 0,009}{N}. \quad (12)$$

Отсюда связь абсолютной мощности реактора с показаниями штатных измерительных каналов ( $N$ ) следующая:  $W$  (Вт) =  $(3,11 \pm 0,22) \cdot N$ , что в пределах ошибки совпадает с оценкой средней мощности, определенной по тепловыделению в активной зоне:  $W$  (Вт) =  $(3,0 \pm 0,15) \cdot N$ . Для дополнительной оценки калибровки мощности использованы также данные по плотности распределения энергии импульсов реактора ИБР-2. В качестве свободного параметра аппроксимирующей зависимости (6) бралась средняя мощность. Результаты такой калибровки практически совпадают с данными калибровки с использованием выражения (12).

## 7. ОЦЕНКА ИСТОЧНИКА СПОНТАННЫХ НЕЙТРОНОВ ( $S_{\text{сп}}$ )

С использованием экспериментального значения  $S_{\text{сп}} = (5,3 \pm 0,20) \times 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , полученного при загрузке активной зоны, определена граничная мощность ( $W < 0,01$  Вт), ниже которой в источнике нейтронов преобладают спонтанные нейтроны. Относительную дисперсию флуктуаций энергии импульсов на границе этой области можно представить в виде  $(\sigma_Q/\bar{Q})^2 = \delta_0^2 + (2,99 \pm 0,09)$  и  $M = \frac{\nu \cdot \Gamma}{2\tau S_{\text{сп}}} = 2,99 \pm 0,09$ . Отсюда мощность источника спонтанных нейтронов

$$S_{\text{сп}} \leq \frac{\nu \cdot \Gamma}{2\tau \cdot 2,99} = (6,72 \pm 0,12) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}. \quad (13)$$

Расчетное значение составляет  $(7,1 \pm 0,16) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, оценка источника нейтронов по стохастическим шумам мощности достаточно близка к расчетной и экспериментальной.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Исследованы стохастические флуктуации энергии импульсов модернизированного реактора ИБР-2. Экспериментальные результаты позволили оценить некоторые ядерно-физические параметры активной зоны, такие как среднее время жизни мгновенных нейтронов  $\tau = (6,53 \pm 0,2) \cdot 10^{-8} \text{ с}$ , абсолютную мощность реактора и интенсивность источника спонтанных нейтронов  $S_{\text{сп}} \leq (6,72 \pm 0,12) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Показано, что экспериментальные результаты близки к расчетным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ананьев В. Д., Виноградов А. В., Долгих А. В.* Реактор ИБР-2 — эксплуатация и перспективы развития // 11-е ежегодное российское совещание по безопасности исследовательских ядерных установок. Димитровград, 2009. С. 69–77.
2. *Шабалин Е. П.* Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1976.
3. *Пепельшев Ю. Н.* Метод экспериментальной оценки эффективной доли запаздывающих нейтронов и времени жизни поколения нейтронов реактора ИБР-2. Препринт ОИЯИ Р13-2007-96. Дубна, 2007.
4. *Говорков А. Б., Козик Б.* О статистике амплитуд всплесков реактора ИБР. Препринт ОИЯИ Р-2076. Дубна, 1965.

Получено 20 февраля 2012 г.

Редактор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 16.04.2012.

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

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,88. Тираж 265 экз. Заказ № 57624.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)