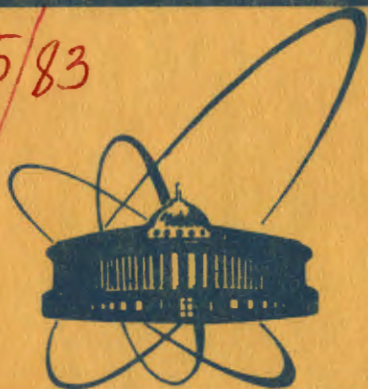


275/83



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

10/1-83

13-82-701

А.А.Богдзель, Ю.Н.Пепельшев, Б.Н.Соловьев,
В.Г.Тишин, Е.П.Шабалин

СИСТЕМА МОНИТОРИРОВАНИЯ
МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ИБР-2
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ВО ВРЕМЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПУСКА

1982

Для проведения энергетического пуска реактора ИБР-2, начавшегося в 1980 г., в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ была создана система измерения мощности реактора. Система предназначена для мониторинга мощности реактора при исследовании некоторых его характеристик /например, для определения абсолютных флуктуаций мощности, изучения динамики реактора, измерения тепловыделения в отдельных элементах его конструкции и т.д./. Кроме того, система используется для дополнительного контроля мощности при выводе реактора на заданный уровень средней мощности. Измерение относительной мощности осуществляется с погрешностью 1% в импульсном режиме работы реактора в диапазоне от 1 Вт до 4 МВт и в стационарном режиме в диапазоне от 0,01 Вт до 100 кВт. Градуировка монитора в абсолютных единицах мощности проводится на основе дополнительных измерений /например, по тепловыделению в активной зоне или по методу "умножения источника"/. Проверка стабильности обеспечивается периодическим сравнением от калиброванных источников.

В данной работе приводятся принцип построения и основные характеристики монитора, полученные во время энергетического пуска реактора ИБР-2.

1. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ И ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ИБР-2

Система мониторинга состоит из трех независимых функциональных устройств, объединенных общим принципом измерения мощности. Измеряемая мощность $\bar{W}(t + \Delta t)$ пропорциональна энергии $Q(t + \Delta t)$, вырабатываемой реактором за известный промежуток времени Δt

$$\bar{W}(t + \Delta t) = N(t + \Delta t) \cdot K \cdot \eta(t) / \Delta t, \quad /1/$$

где $N(t + \Delta t)$ - измеряемая величина, K - коэффициент пропорциональности, определяемый в дополнительных абсолютных измерениях, $\eta(t)$ - функция, учитывающая нестабильность и шумы детектора и измерительной электроники.

В соответствии с режимом работы используемых детекторов /токовый или счетный/ и, следовательно, детекторной электроники, система мониторинга подразделяется на следующие отдельные мониторы:

1/ токовый монитор для стационарного режима реактора /при заторможенном модуляторе реактивности/,

- 2/ токовый монитор в импульсном режиме реактора,
 3/ счетный монитор для стационарного и импульсного режимов реактора.

В токовых мониторах измеряемой величиной $N(t + \Delta t)$ является заряд, образующийся в детекторе под действием нейтронов, за некоторое время Δt , в счетном - суммарное число импульсов с нейтронного детектора.

Практически измеряется произведение $N \cdot \eta$, в котором N и η являются случайными независимыми величинами. Коэффициент K , входящий в выражение $1/K$, определен с систематической погрешностью ΔK , а погрешность задания временного интервала Δt составляет менее $\sim 0,01\%$ и в практических измерениях ею можно пренебречь. Тогда относительную стандартную ошибку σ_W/W измерения абсолютного значения мощности \bar{W} можно представить в виде:

а/ для счетного монитора:

$$\frac{\sigma_W}{\bar{W}} = \left[\frac{1}{\bar{n}} \left(1 + \frac{\sigma_\eta^2}{\eta^2} \right) + \frac{\sigma_\eta^2}{\eta^2} \right]^{1/2} + \frac{\Delta K}{K}, \quad /2/$$

б/ для токовых мониторов:

$$\frac{\sigma_W}{\bar{W}} = \left[\frac{1}{\bar{n}} \left(1 + \frac{\sigma_q^2}{\bar{q}^2} + \frac{\sigma_\eta^2}{\eta^2} \right) + \frac{\sigma_q^2}{\bar{q}^2} + \frac{\sigma_\eta^2}{\eta^2} \right]^{1/2} + \frac{\Delta K}{K}, \quad /3/$$

где \bar{n} - среднее число нейтронов, зарегистрированных за интервал времени Δt , σ_q/\bar{q} - относительная стандартная ошибка среднего заряда \bar{q} , образующегося в детекторе при регистрации одного нейтрона; σ_η - стандартная ошибка величины η .

В относительных измерениях мощности при $\bar{n} \rightarrow \infty$ $\sigma_W/\bar{W} \rightarrow \sigma_\eta/\eta$, т.е. практически определяется нестабильностью измерительного тракта /значение σ_q/\bar{q} для используемых детекторов равно $\sim 0,1\%$.

Суммарная погрешность относительных измерений \bar{W} не превышает $\sim 1\%$, а измерений абсолютного значения мощности - $\sim 10\%$.

Структурная схема мониторов показана на рис.1. В качестве датчиков нейтронного потока используются ионизационные камеры $/K_1-K_5/$ с конверторами и геометрией электродов, обеспечивающими оптимальную работу детекторной электроники в зависимости от спектрального состава и плотности потока нейтронов на детекторе. Так, в импульсном токовом мониторе применяется низкофоновая камера $RWKJ-8T$ с ^{10}B -конвертором, установленная вблизи активной зоны, для стационарного режима используются камеры $KHK-15$ и $KHT-14$ с ^{235}U и ^{238}U -конверторами $^{1/}$, размещенные в центральном канале реактора, и две камеры $KHT-31$ с ^{235}U $^{1/}$ для счетного монитора, установленные на выведенном нейтронном пучке. В токовом мониторе мощности в стационарном режиме реактора выходной ток камеры $/K_2, K_3/$ преобразуется в цифровой код в соответствующем преобразователе $/PR_1, PR_2/$, после чего интегрируется в накопительном регистре $/MR_1, MR_2/$ в течение времени, определяемого блоками задания временного интервала $/БЗВИ_1, БЗВИ_2/$. Соответствующий блок $БЗВИ$ имеется в каждом отдельном мониторе.

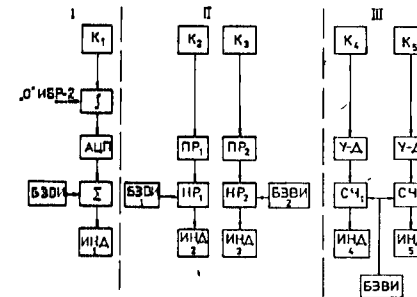


Рис.1. Блок-схема системы измерения мощности реактора ИБР-2. Обозначения в тексте.

Аналогичная операция осуществляется в импульсном токовом мониторе. Здесь после предварительного интегрирования заряда, образующегося в камере под действием реакторной вспышки, осуществляется его преобразование в цифровой код в блоке $/АЦП/$ с дальнейшим накоплением цифровой информации в сумматоре (Σ) .

В счетном мониторе отдельные импульсы с камер после предварительного отбора в схемах усиления и дискриминации $/УД_1, УД_2/$ поступают непосредственно в счетчики $/СЧ_1, СЧ_2/$.

В конце цикла измерения, задаваемого блоками $БЗВИ$, содержимое накопительных регистров и счетчиков выводится на отдельные десятичные индикаторы $/ИНД_1-ИНД_5/$.

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ МОНИТОРОВ

Отдельные мониторы /токовые и счетный/ из общей мониторинговой системы существенно различаются способами выполнения общих для всех мониторов функциональных задач: предварительной обработки информации, поступающей с детектора, и ее преобразования в цифровой код. Ниже приводится описание отдельных мониторов и даются их основные характеристики, полученные на реакторе ИБР-2.

2.1. Токовый монитор для стационарного режима работы реактора

Монитор используется для измерения текущего значения мощности реактора в диапазоне от $0,1$ Вт до 100 кВт при заторможенном модуляторе реактивности. Функциональная схема монитора показана на рис.2.

Основным элементом измерительной электроники является преобразователь тока в частоту /на рисунке выделен пунктирной линией/ с периодическим выводом информации на цифровой индикатор $/ИНД/$. Преобразователь построен по принципу, описанному в работе $^{2/}$. Ток камеры заряжает входную емкость $/С/$ до определенного уровня напряжения, которое через блок согласования $/БС/$ поступает на вход Д-триггера $/ДТр/$. Одновременно на счетный вход Д-триггера постоянно поступают импульсы с делителя частоты $/ДЧ/$ кварцевого генератора $/Г/$ с $f = 1$ МГц. При совпадении уровней на входах

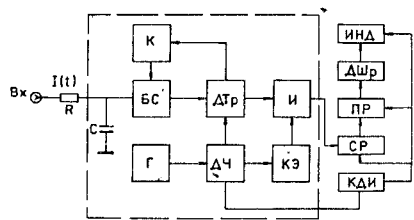


Рис.2. Функциональная схема регистрирующей части токового монитора мощности. БС - блок согласования, ДТр - триггер, ДЧ - делитель частоты, Г - генератор, К - ключ, И - схема "И", КЭ - коммутатор экспозиции, ДШр - дешифратор, КДИ - коммутатор динамической индикации, СР - счетный регистр, ПР - промежуточный регистр, ИИД - десятичный индикатор.

Д-триггера на его выходе появляется сигнал, разряжающий через ключ /К/ емкость С. Сопротивление R служит для разделения емкости С и паразитной емкости кабеля. Время измерения и индикации обеспечивается соответственно коммутатором экспозиции /КЭ/ и коммутатором динамической индикации /КДИ/. Во время измерения импульсы со схемы /И/ при наличии разрешения с КДИ накапливаются в счетном регистре /СР/. В конце цикла измерения информация через промежуточный регистр /ПР/ и дешифратор /ДШр/ высвечивается на десятичном индикаторе. Описанный процесс периодически повторяется. Время измерения равно времени высвечивания и составляет от одной до восьми секунд. Чувствительность токового преобразователя равна $4 \cdot 10^3$ имп/мкА. Дифференциальная нелинейность в диапазоне $10^{-9} - 10^{-5}$ А не превышает 1%.

Периодическая проверка монитора проводится путем измерения α -тока с камеры при переводе реактора в глубокоподкритическое состояние.

2.2. Токовый монитор в импульсном режиме работы реактора

Данный монитор измеряет текущее значение энергии отдельных импульсов мощности или энергию, усредненную за некоторое число реакторных вспышек в диапазоне средней мощности от ~10 кВт до 4 МВт.

Блок-схема импульсного монитора приведена на рис.3. Выходной ток камеры, соответствующий импульсу мощности, интегрируется в интеграторе (\int) в течение времени Δt , задаваемого блоком (Δt). Начало времени интегрирования определяется моментом поступления стартового импульса, синхронизованного с началом развития импульса мощности. С выхода интегратора сигнал, пропорциональный энергии импульса мощности, преобразуется в аналого-цифровом преобразователе /АЦП/ в цифровой код с последующим накоплением в накопительном регистре /НР/. Выбор времени измерения задается установочным счетчиком числа стартов /УСЧ/, управляющим накопительным регистром.

В конце цикла измерения информация с накопительного регистра через промежуточный регистр /ПР/ поступает на индикатор /ИИД/ и высвечивается в течение времени, определяемого блоком выбора

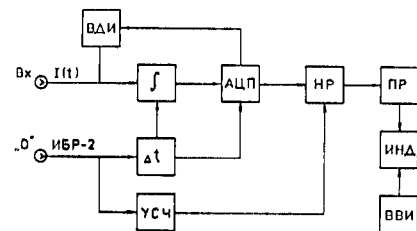


Рис.3. Блок-схема измерительной части импульсного токового монитора. \int - интегратор, Δt - блок задания времени интегрирования, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, НР - накопительный регистр, ПР - промежуточный регистр, ИИД - десятичный индикатор, УСЧ - установочный счетчик, ВВИ - блок выбора времени индикации, ВДИ - блок автоматического выбора диапазона измерения.

установочный счетчик, ВВИ - блок выбора времени индикации, ВДИ - блок автоматического выбора диапазона измерения.

времени индикации /ВВИ/. Блок ВДИ служит для автоматического выбора диапазона измерения в зависимости от величины входного сигнала. Число импульсов мощности, по которому происходит усреднение измеряемой энергии вспышек, выбирается равным одной из следующих величин: 1, 10, 20, 100, 200, 1000 и режимом непрерывного накопления. Дифференциальная нелинейность монитора в диапазоне указанной выше измеряемой мощности составляет 1%.

2.3. Счетный монитор мощности

Счетный монитор используется без перестройки как в импульсном, так и в стационарном режимах работы реактора в диапазоне средней мощности от ~1 Вт до 4 МВт. Измеряемой величиной является число импульсов с камеры, регистрирующей весь спектральный состав нейтронов в пучке. Для устранения перегрузки камеры и счетного тракта в пике импульса мощности от быстрых нейтронов и u -квантов камеры установлены на базе 27,5 м тангенциального канала. Система коллиматоров позволяет регистрировать в основном тепловые нейтроны, выходящие с торцевой поверхности водяного замедлителя. За счет растяжения по времени пролета вспышки тепловых нейтронов с 260 мкс /измерено дифракционной методикой/ до 10 мс влияние импульсного выделения мощности уменьшено в 40 раз. На рис.4 в качестве примера приводится экспериментальная зависимость числа импульсов с камеры от времени пролета нейтронов. Показания монитора W выдаются на индикатор непосредственно в Вт

$$W = N_{e4} / (\Delta t_1 \cdot 10^m),$$

где $\Delta t_1 = K^{-1} / \text{см}$. выражение $1/$, m - задаваемый экспериментатором младший десятичный разряд измеряемой мощности.

На рис.5 приведена блок-схема счетного монитора мощности. После предварительного усиления и исключения импульсов от шумов электроники и α -эмиссии ^{235}U импульсы с детектора поступают на два независимых 9-разрядных счетчика с десятичной индикацией

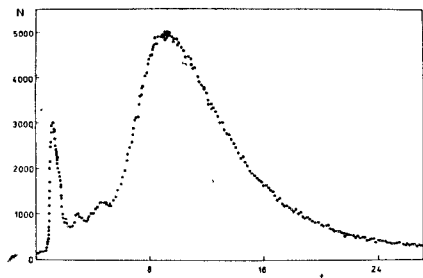


Рис.4. Распределение числа импульсов с камеры счетного монитора (N) в зависимости от времени (t) в мс после начала развития вспышки мощности.

/СЧ_{1,2}/ . Задание времени измерения Δt_1 и значение m осуществляются с помощью счетчика с предварительной установкой /СПУ/ и генератора /Г/.

Ручной контроллер /РК/ используется для обнуления содержимого выходных регистров счетчиков СЧ_{1,2} и СПУ с последующей записью во втором цикле обращения к линии КАМАК в СПУ величины Δt_1 и m .

Счетный монитор полностью универсален, поскольку при изменении коэффициента K /например, при изменении чувствительности камеры или изменении спектра нейтронов в пучке/ необходимо изменить только величину Δt_1 .

Максимальная скорость счета при 1% просчетах составляет $2,0 \cdot 10^5$ имп/с. Долговременная стабильность, измеренная с помощью Рн-Ве источника нейтронов и определяемая как относительное отклонение среднего значения показаний монитора - не хуже 1% в течение 3 дней непрерывной работы монитора. Корректировка монитора проводится с помощью Рн-Ве источника нейтронов.

Начиная с 1980 года, данная система мониторинга мощности успешно используется в реакторных измерениях на ИБР-2. Высокие метрологические характеристики системы, надежность и универсальность позволяют в дальнейшем применить ее в общей системе контроля реакторных параметров ИБР-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.Б., Малышев Е.К. Нейтронные и ионизационные камеры для реакторной техники. Атомиздат, М., 1975.
2. Зинов В.Г., Краснобородов Б.С. ПТЭ, 1974, №1, с. 89.

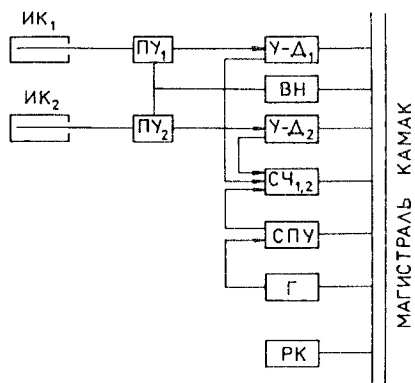


Рис.5. Блок-схема счетного монитора мощности. ИК₁/ИК₂ /- ионизационные камеры деления, ПУ₁/ПУ₂ / - предварительные усилители, У-Д₁/У-Д₂ / - усилитель-дискриминатор, СЧ_{1,2} - счетчики, СПУ - счетчик с предварительной установкой, Г - генератор, РК - ручной контроллер, ВН - блок высоковольтного питания ионизационных камер.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 сентября 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

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

Богдзель А.А. и др. 13-82-701
Система мониторинга мощности реактора ИБР-2 для проведения экспериментов во время энергетического пуска

Описывается система мониторинга мощности импульсного реактора ИБР-2, предназначенная для проведения исследований во время энергетического пуска реактора. Измерительная система состоит из трех независимых функциональных устройств, каждое из которых измеряет величину, пропорциональную среднему числу нейтронов, зарегистрированных за известный промежуток времени. Непосредственно измеряемой величиной является число импульсов с ионизационных камер или заряд, выделяющийся в детекторе за определенное число вспышек мощности / в импульсном режиме работы реактора/, или за выбранный интервал времени / в стационарном режиме работы реактора/. Диапазон измерения мощности составляет $1 \text{ Вт} \pm 4 \text{ МВт}$ с погрешностью в относительных измерениях 1% как в импульсном, так и в стационарном режимах работы реактора. Дополнительный токовый монитор текущего значения мощности, используемый только в стационарном режиме реактора, имеет диапазон измерения мощности от 0,01 Вт до 100 кВт.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Bogdzel A.A. et al. 13-82-701
The System of Power Monitoring of the IBR-2 Pulsed Reactor for the Power Start Up Experiments

The system of power monitoring of the IBR-2 pulsed reactor during the power start up of the reactor is described. The system consists of three independent functional blocks for measuring values proportional to the average number of neutrons detected during a known period of time. The values, in particular, are: the number of pulses from the ionization chamber or the charge stored in a detector per a known number of power pulses (in the pulsed mode of operation) or during a known time interval (in the stationary mode). The power monitoring range is 1 W-4 MW with relative error of about 1% both in the pulsed and stationary regimes. An auxiliary current monitor of running power value is used only in the stationary mode for the power range from 0.01 W up to 100 kW.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.