

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П 259

УДК 621.039.55

13-89-251

ПЕПЁЛЫШЕВ
Юрий Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ИБР-2
ПО ШУМАМ ЕГО ПАРАМЕТРОВ**

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1989

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. В 1984 г. в число действующих высокопоточных исследовательских реакторов вошёл импульсный реактор периодического действия ИБР-2. Реактор был создан в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований для работ в области ядерной физики, физики конденсированных сред, молекулярной биологии, а также для решения различного рода прикладных задач с использованием нейтронов.

По принципу действия реактор ИБР-2 существенно отличается от высокопоточных исследовательских реакторов традиционной конструкции. Это обстоятельство ставит его в ряд установок, не имеющих аналогов в мировой практике реакторостроения. Поэтому при пуске реактора, а также в период его последующей работы на мощности основное внимание уделялось исследованию его свойств и в первую очередь - изучению случайных процессов, как наиболее безопасному способу определения реакторных характеристик.

В настоящее время реактор эксплуатируется при следующих параметрах:

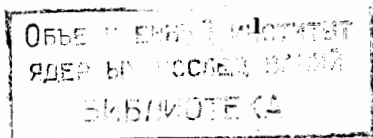
- средняя тепловая мощность 2 МВт,
- пиковая мощность 1500 МВт,
- длительность импульса мощности 215 мкс,
- частота повторения импульсов 5 с^{-1} ,
- пиковая плотность потока тепловых нейтронов на поверхности замедлителя $1 \cdot 10^{16} \text{ н/см}^2 \text{ с}$

Принципиальная схема реактора показана на рис. 1.

Основная цель работы состояла в исследовании свойств реактора ИБР-2 и в разработке методов его диагностики.

Соответственно решение поставленной задачи заключалось:

- в экспериментальном изучении детерминированных процессов изменения мощности,
- в разработке методики исследования случайных процессов, происходящих в реакторе; в создании аппаратного и программного обеспечения этой методики;
- в экспериментальном изучении характеристик различных случайных процессов, корреляции их между собой, влияния на них состояния реактора;



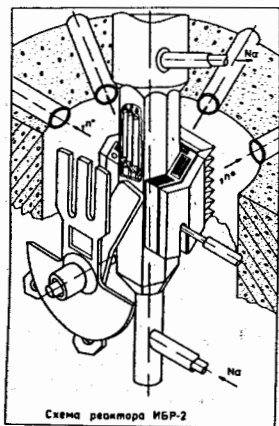


Рис. 1. Принципиальная схема реактора ИБР-2.

- в разработке методик диагностики состояния реактора по шумам его параметров и в их практической реализации.

Научная новизна работы заключалась в том, что в ней впервые проведены систематические исследования случайных процессов, действующих в импульсных реакторах периодического действия на быстрых нейтронах. Впервые получены данные, подтверждающие возможность устойчивой и надёжной работы реактора при наличии сильных возмущений внешней реактивности. Показано, что для импульсных реакторов периодического действия анализ реакторных шумов открывает большие возможности для диагностики основных реакторных систем.

Практическая ценность работы заключалась в том, что полученные в ней результаты позволили:

1) убедиться в эффективной, надёжной и безопасной работе реактора ИБР-2 на всех уровнях мощности;

- 2) диагностировать состояние реактора по шумам мощности;
- 3) выполнить программу физического и энергетического пусков реактора;

- 4) наметить пути сокращения длительности нейтронной вспышки;
- 5) убедиться в соответствии параметров реактора проектным требованиям.

Автор защищает:

1. Результаты экспериментального исследования детерминированных и стохастических процессов изменения мощности. Эти исследования позволили определить основные кинетические параметры реактора, сократить длительность нейтронной вспышки за счет оптимизации конструкции элементов, окружающих активную зону.

2. Методику исследования шумовых характеристик реактора, её аппаратное и программное обеспечение.

3. Экспериментальные данные по шумам ИБР-2: флуктуациям мощности, вибрациям подвижных отражателей, колебаниям температуры и расхода натрия в системе охлаждения активной зоны, а также флуктуациям случайных эффектов реактивности, обусловленных работой различных технологических систем. Эти исследования позволили убедиться в эффективной и безопасной работе реактора на всех уровнях мощности.

4. Результаты применения различных методов анализа данных, включая метод распознавания образов, в технической диагностике реактора ИБР-2 по шумам мощности, что позволило выявить различные особенности в работе реактора и его отдельных технологических систем.

Публикации: по теме диссертации опубликовано 15 сообщений ОИЯИ и 2 статьи в журнале "Атомная энергия".

Личный вклад: работа выполнена при определяющем вкладе автора.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста с 25 таблицами и 45 рисунками. Список литературы состоит из 54 наименований.

Содержание работы

Во введении показана актуальность работы, сформулирована её цель, кратко изложено содержание диссертации и приведены основные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе приводятся результаты исследований детерминированных процессов изменения мощности за период пульсации реактивности, а также экспериментальные данные по основным кинетическим параметрам реактора. Некоторые основные параметры в штатном состоянии реактора имеют следующие значения:

- отношение эффективной доли запаздывающих нейтронов $\beta_{эф}$ к среднему времени жизни поколения мгновенных нейтронов τ $\beta_{эф}/\tau$, где $\tau = 62 \pm 2$ мс - $(3,48 \pm 0,01) 10^4$ с⁻¹;

- отношение измеренного значения $\sqrt{\beta}$ эф к расчетному $1,001 \pm 0,007$
- длительность импульса мощности 215 мкс,
- отношение пиковой мощности к фону между всплесками $1,31 \cdot 10^4$
- отношение среднего уровня фона к средней мощности $6,5 \cdot 10^{-2}$

Результатом исследований были рекомендации сокращения длительности нейтронной всплески путем оптимизации конструктивных элементов, окружающих активную зону, и изменения режима работы модулятора реактивности.

Эксперименты показали, что форма импульса мощности хорошо описывается одноточечным уравнением кинетики, а полуширина импульса подчиняется известному соотношению

$$\theta = 1,4 (\tau / \alpha \cdot v^2)^{1/3}, \text{ где } \alpha - \text{коэффициент}$$

параболы модулятора реактивности, v - линейная скорость отражателя относительно активной зоны.

Основной кинетический параметр реактора - $\sqrt{\beta}$ эф / τ при постоянном значении $\sqrt{\beta}$ эф существенно зависит от ближайшего окружения активной зоны. Величина τ определялась по шумам мощности с помощью нескольких независимых методов. В табл. I показано, как тот или иной узел реактора влияет на величину τ и θ . Наибольшее влияние на θ (на 30+40 мкс) оказывает форма и материал дополнительного подвижного отражателя (ДПО). Реализация мероприятий, направленных на сокращение θ (усиление экранов, поглощающих эпитермальные нейтроны и замена бериллиевого ДПО на сталь), позволила скомпенсировать увеличение

θ в 1,59 раза, вызванное необходимостью снизить в целях безопасности реактора скорость вращения основного подвижного отражателя (ОПО) вдвое. При этом длительность всплески только за счет уменьшения τ с 83 нс (физический пуск) до 61 нс (энергетический пуск) сократилось на ~20 мкс. Некоторый резерв сокращения

θ ещё на 20 мкс в существующей конструкции реактора состоит в уменьшении τ до значения, близкого к предельно возможному (45+50) нс, путём удаления части защитных конструкций модулятора реактивности.

Таблица I

Изменение полуширины импульса мощности $\delta\theta$ (мкс) и среднего времени жизни поколения мгновенных нейтронов $\delta\tau$ (нс), обусловленное установкой или заменой отдельных компонентов реактора или изменением режима его работы

Название операции	Физический пуск		Энергетический пуск	
	$\delta\theta$	$\delta\tau$	$\delta\theta$	$\delta\tau$
Установка замедлителя за ДПО	30±4	5 ± 1	5±4	5 ± 4
Установка основных замедлителей	1±4	0 ± 5	0±4	0 ± 3
Установка замедлителя за блоками медленной аварийной защиты	8±4	6 ± 6	0±4	0 ± 3
Установка кожуха подвижных отражателей	+15	18±17	-	15±5
Замена ДПО из бериллия на алюминий	-40±4	-14±7	-	-
Помещение натрия в активную зону	-	-	-	5±3
Смена частоты повторения импульсов мощности				
с 50 до 5 1/с	-22±4			
с 25 до 5 1/с			-13±5	

Реальное же улучшение кинетических характеристик реактора состоит в дальнейшем совершенствовании конструкции модулятора реактивности и улучшении его нейтронно-физических и динамических свойств.

Исследования подтвердили также высокую стабильность формы импульса мощности ($\leq 1\%$). Это обусловлено малыми, как показано в главе 2, флуктуациями реактивности и хорошей стабильностью частоты вращения подвижных отражателей.

Во второй главе описана методика исследований случайных (шумовых) процессов на реакторе ИБР-2, кратко рассмотрено аппаратное и программное обеспечение экспериментов. Приводятся параметры реакторных шумов, вибраций подвижных отражателей и флуктуаций термогидравлических характеристик первого контура системы охлаждения активной зоны. Анализируются корреляционные связи между случайными эффектами реактивности и их изменение в зависимости от уровня мощности и различных параметров, определяющих нормальное функционирование реактора. В этой же главе представлены данные по исследованию динамических параметров модулятора реактивности одной из важнейших систем реактора, влияющих на его ядерную безопасность.

Для импульсного реактора периодического действия стохастические процессы размножения нейтронов и флуктуации внешней реактивности в общем случае отрицательно влияют на основные эксплуатационные характеристики реактора: надёжность, безопасность, качество регулирования и управления, устойчивость и т.д.

Природа случайных процессов, происходящих в импульсном реакторе периодического действия, изучена недостаточно. В основном на реакторе ИБР-2 исследовались флуктуации энергии импульсов мощности и случайные характеристики двух основных систем: системы охлаждения активной зоны и системы модуляции реактивности. Всего исследовалось двенадцать параметров. Основные из них - осевые колебания, нестабильность угла рассинхронизации и частоты вращения подвижных отражателей, флуктуации температуры, расхода и уровня натрия в активной зоне - являются главным источником неконтролируемых возмущений реактивности. Общая картина флуктуаций мощности и изменение случайных характеристик указанных выше систем исследовались в зависимости от:

- уровня мощности,
- величины расхода натрия через активную зону,
- частоты следования импульсов мощности,
- режима работы модулятора реактивности.

Принципиальная блок-схема созданной для этой цели измерительной системы показана на рис. 2. Программные средства системы включали следующие виды анализа данных:

- статистический анализ временных рядов (спектральный с помощью быстрого преобразования Фурье и Уолша, корреляционный и т.д.),

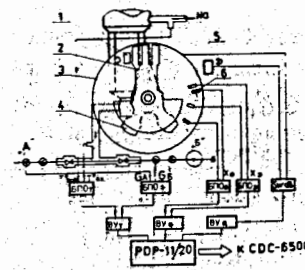


Рис. 2. Принципиальная схема измерения шумовых характеристик реактора ИБР-2: Д - нейтронные детекторы, БИО - блоки предварительной обработки сигналов с датчиков температуры (Т), расхода натрия (Г), перемещений ОИО(О) и ДИО (Д); ВУ - входные устройства ЭВМ в системе КАМАК при измерении температуры (Т),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

- регрессионный,
- гармонический анализ с помощью комплексной демодуляции,
- распознавание образов.

Полная статистическая обработка экспериментальной информации проводилась на ЭВМ CDC-6500 и ИВМ РС/XT.

Исследования показали, что при мощности менее 1 кВт статистика энергии всплеск хорошо согласуется с теоретическими представлениями, основанными на стохастических процессах деления и размножения нейтронов. На рис. 3 для примера показаны экспериментальная и расчетная зависимости дисперсии энергии всплеск от мощности.

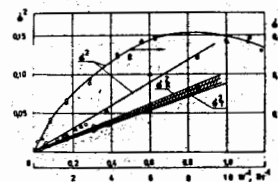


Рис. 3. Зависимость относительной дисперсии энергии импульсов мощности от величины W^1 в режимах 25 I/c (O) и 5 I/c (Δ). (O, Δ) - соответственно после исключения нестохастических шумов); σ_k^2 - измеренная, σ_k^2 - с коррекцией на низкочастотный тренд, σ_k^2 - расчетная. Затрихованная область включает погрешность в определении σ_k^2 .

Нижняя ось абсцисс соответствует правой шкале ординат.

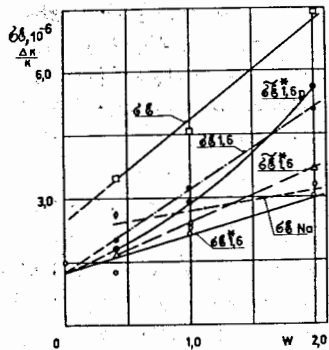


Рис. 4. Режим 5 I/c. Стандартные отклонения полных δk и частных δk_{Na} , $\delta k_{1,6}$ флуктуаций реактивности как функция W (МВт). $\delta k_{1,6}$ - флуктуации внешней реактивности на частоте 1,6 Гц, обусловленные вибрациями ПЮ; $\delta k_{1,6}^*$ - величина $\delta k_{1,6}$, скорректированная на передаточную функцию реактора при измеренных (в 1984 г.) параметрах мощностной обратной связи; $\delta k_{1,6p}$ - расчетные флуктуации с подобранным коэффициентом мощностной обратной связи.

При большом уровне мощности (≥ 1 кВт) статистика всплеск определяется характером случайных возмущений внешней реактивности и динамическими свойствами реактора. Оба фактора существенно зависят от мощности (см., например, рис. 4), расхода натрия через активную зону и частоты следования импульсов мощности. Так, при частоте следования всплеск, равной 25 I/c, основной источник неконтролируемых возмущений мощности связан с движением натрия через активную зону (83% дисперсии шумов), а в режиме 5 I/c - с поперечными вибрациями подвижных отражателей (50+60% дисперсии). Долговременная нестабильность флуктуаций энергии всплеск (в пределах 4-х лет) мала и в основном, как показано в этой главе, обусловлена деградационной нестабильностью колебаний подвижных отражателей. Динамические же параметры модулятора реактивности в нормальном режиме его работы и при отсутствии в нём дефектов не могут создать ситуации, приводящих к недопустимому изменению мощности.

Зависимость случайных эффектов реактивности от мощности, как оказалось, не согласуется с расчетной. Различие имеет принципиальный характер в смысле определения границы устойчивости реактора. Именно при анализе шумовых данных был впервые обнаружен факт уменьшения мощностной обратной связи в реакторе в процессе эксплуатации, что впоследствии было подтверждено прямыми экспериментами. В этой главе показано, что более точное описание обратнотной мощностной связи в быстрых ($t \leq 2$ с) процессах может значительно

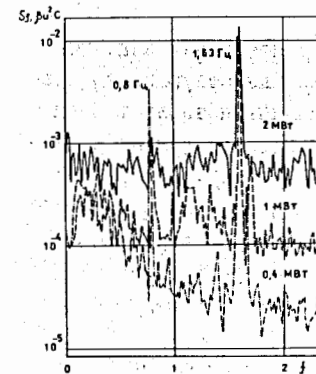


Рис. 5. Режим 5 I/c. Спектральная плотность флуктуаций реактивности при некоторых значениях средней мощности. f - частота в Гц.

снизить расчетный уровень критической мощности (той мощности, выше которой реактор ИБР-2 теряет устойчивость). Рис. 5 иллюстрирует характер усиления флуктуаций полной реактивности с ростом мощности.

Малый в среднем уровень неконтролируемых флуктуаций внешней реактивности (размах менее $4,5 \cdot 10^{-5} \Delta k/k$) в основном определяется следующим:

- 1) высокой стабильностью параметров системы охлаждения и незначительными вибрациями тепловыделяющих элементов;
- 2) малым уровнем механических колебаний подвижных отражателей.

В последнем случае положительным фактором стало снижение частоты вращения ОПО с 3000 до 1500 об/мин. Это уменьшило случайные возмущения реактивности от ОПО в 1,5 раза и от ПЮ в 5-7 раз. В результате этого максимальные флуктуации энергии импульсов мощности в среднем находились на уровне допустимых и не превышали 35+40%.

В целом конструкция реактора ИБР-2 позволит осуществить безопасную и надёжную работу реактора на всех уровнях мощности до 2 МВт. Возможность надёжной работы реактора на мощности выше 2 МВт требует экспериментальной проверки.

В третьей главе приведены методические разработки диагностики состояния подвижных отражателей (ПЮ) и реактора в целом, основанные на анализе шумов мощности. Даны результаты классификации реакторных шумов и вибрационных состояний ПЮ, полученные с помощью эвристического метода распознавания образов. Приведены конкретные примеры диагностики некоторых аномалий в работе реак-

тора, зафиксированных с помощью различных методов анализа реакторных шумов.

Высокая чувствительность реактора ИБР-2 позволяет выделить очень малые ($< 10^{-6} + 10^{-7} \Delta K/K$) возмущения, действующие со стороны отдельных реакторных систем. Это в принципе позволяет регистрировать появление дефектов в реакторе на ранней стадии их развития. Однако характер возможных неисправностей заранее нельзя формализовать и, соответственно, трудно идентифицировать. Поэтому в диагностике реактора ИБР-2 особое внимание уделялось использованию различных методов анализа шумов. Дополняя друг друга, они позволяли, как бы с разных "сторон", рассмотреть возникшую аномальную ситуацию.

Исходя из особенностей реактора, реакторных шумов и степени опасности, возникающей при нарушениях в работе отдельных систем использовались следующие методы анализа шумов:

- временной анализ дисперсии полных и частичных случайных флуктуаций реактивности;
- временной анализ амплитуды и фазы периодических колебаний энергии импульсов мощности, коррелирующих с вибрациями ПЮ. Контроль за резонансными и вынужденными колебаниями отражателей;
- анализ кластерной структуры спектров колебаний мощности и вибраций ПЮ с помощью метода распознавания образов.

В последнем, основном, методе диагностики в качестве шумового образа (шумового состояния) реактора использовались спектральные плотности флуктуаций мощности, осевых колебаний ОПО и ДПО и угла рассинхронизации между лопастями отражателей. Спектральные оценки этих параметров представлялись в виде вектора (или точки) в N -мерном евклидовом пространстве:

$$\vec{S} = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_N)^T$$
, где S_i - координата вектора (признак образа), равная значению спектральной плотности на i -й частоте, $N = 256$ - число точек спектральной плотности. Дальнейший анализ спектров проводился с использованием эвристического метода распознавания образов, основанном на алгоритме ISODATA (итеративном самоорганизующемся методе анализа данных). Комплекс исследований, проведенный в 1982 + 1986 г.г., показал, что в этот период времени (период основной работы реактора на мощности с первым вариантом модулятора реактивности) шумовые состояния реактора, корреляционно связанные с

натриевыми эффектами реактивности или с вибрациями ПЮ, группируются относительно небольшого числа устойчивых центров. Характеристики последних зависят от условий работы модулятора реактивности и системы охлаждения активной зоны. Это обстоятельство позволило установить адекватность выделенных классов (под классом здесь понимается множество образов, объединенных некоторыми общими свойствами) с нормальными (или аномальными) состояниями указанных выше систем, и идентифицировать текущее состояние реактора, соотнося текущие шумовые образы с выделенными классами шумов. При таком подходе к диагностике реактора необходимо было обеспечивать реализацию следующих операций:

1. Измерение последовательности импульсов мощности и отклонений ПЮ. Создание архива данных.
2. Получение спектральных оценок. Создание архива спектров.
3. Решение оптимизационной задачи по выбору параметров алгоритма ISODATA.
4. Обучение системы распознавания образов на базе множества спектров, полученных при известных состояниях реактора (классификация спектров).
5. Динамическая корректировка центров классов с анализом кластерной структуры во время работы реактора.

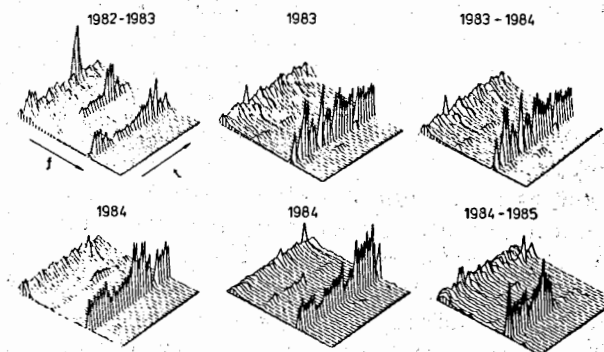


Рис. 6. Нормированная на дисперсию спектральная плотность колебаний энергии импульсов мощности в процессе работы реактора с 1982 по 1985 гг. f - частота, t - время.

Также в качестве конкретного примера приведены некоторые результаты анализа шумовых состояний реактора в период его работы с 1982 по 1986 гг. Исходное множество спектров колебаний энергии импульсов мощности представлено на рис. 6. При их классификации в полном пространстве признаков (в 256-мерном) выделились шесть кластерных структур. Для удобства дальнейшего анализа из 256 признаков спектров с помощью энтропийного метода были выделены 20 наиболее информативных. На рис. 7 показаны проекции выделенных классов на плоскость наиболее информативных координат, корреляционно связанных с поперечными вибрациями Ю.

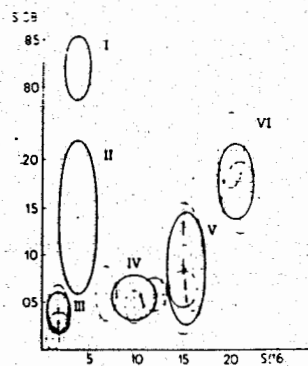


Рис. 7. Проекция классов спектров колебаний мощности на плоскость наиболее информативных координат. Класс VI - аномальный.

Класс VI идентифицирован как аномальный. Его появление относится к периоду первого вывода реактора на мощность 2 МВт и, как оказалось, причинно связано с развитием одного небольшого дефекта в приводе Ю. Рис. 8 иллюстрирует

изменение полных и частичных случайных эффектов реактивности в этот период.

В этой главе приведены также некоторые результаты контроля за состоянием Ю с помощью комплексной демодуляции детерминированных колебаний мощности. На рис. 9 показан пример аномального усиления амплитуды колебаний мощности на двух основных частотах, обусловленных вибрациями Ю. Аперiodический рост колебаний мощности на этих частотах был вызван изменением характера одного небольшого дефекта в приводе Ю при первом выводе реактора на мощность 1 МВт.

Обнаруженные с помощью различных методов анализа шумов аномалии в поведении реактора были настолько малы, что практически не регистрировались штатными системами контроля.

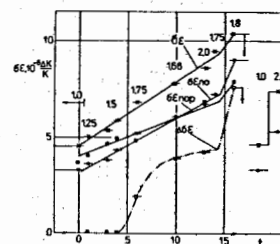


Рис. 8. Режим 5 I/с. Первый выход на мощность 2 МВт. Величина стандартного отклонения случайных колебаний реактивности в зависимости от времени непрерывной работы Ю (t , сутки). Момент времени $t = 0$ соответствует подъёму мощности выше 1 МВт. Цифрами на рисунке отмечен уровень средней мощности в МВт.

β - полные флуктуации реактивности ($\beta\beta$), \bullet - часть полных флуктуаций, коррелирующая с вибрациями Ю ($\beta\beta_{по}$), \blacksquare - оценка $\beta\beta_{по}$ ($\beta\beta_{пор}$), вычисленная по измеренным осевым колебаниям отражателей, \square - компонента реактивности, причинно связанная с дефектом Ю ($\Delta\beta\beta$).

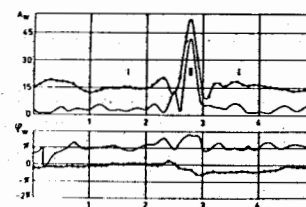


Рис. 9. Режим 5 I/с. После первого выхода на мощность 1 МВт. Изменение амплитуды A_w (кВт) и фазы φ_w колебаний мощности на частотах 0,811 Гц (—) и 1,633 Гц (---) в зависимости от времени t (мин). Средняя мощность реактора 1 МВт. Частота 1,633 Гц связана с дефектом поворотного редуктора в приводе Ю.

Нетипичные для реактора случайные эффекты реактивности не превышали $10^{-5} \Delta K/K$ и существенно не повлияли на работу реактора.

Таким образом, диагностика реактора ИБР-2 по шумам его основных параметров позволяет идентифицировать дефекты отдельных систем на ранней стадии их развития.

В заключении перечислены основные результаты проделанной работы:

1. Разработана методика и создана система для исследования реакторных параметров.

2. Проведен комплекс экспериментальных исследований реактора ИБР-2, обеспечивший выполнение программы физического и энергетического пусков реактора.

3. Разработаны методы диагностики состояния реактора по шумам его параметров. Показана возможность идентификации аномалий в работе реактора по шумам мощности и колебаниям подвижных отражателей. Создан банк шумовых состояний реактора.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Ананьев В.Д., Архипов В.А.,..., Пепельшев Ю.Н. и др. Физический пуск импульсного исследовательского реактора ИБР-2. - Атомная энергия, 1979, т.46, вып.6, с.393-400.
2. Ананьев В.Д., Архипов В.А.,..., Пепельшев Ю.Н. и др. Энергетический пуск реактора ИБР-2 и первые физические исследования на его пучках. - Атомная энергия, 1984, т.57, вып.4, с.227-234.
3. Ломидзе В.Л., Мелихов В.В., Пепельшев Ю.Н. и др. Физический пуск реактора ИБР-2. Измерение формы импульса мощности. - Дубна, 1979 - 20 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: Р13-12194).
4. Ишмухаметов М.З., Пепельшев Ю.Н. Анализатор формы импульсов мощности реактора. - Дубна, 1979 - 10 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: П1-12153).
5. Гусев В.В., Гудовски В.,..., Пепельшев Ю.Н. и др. Физический пуск реактора ИБР-2. Измерение среднего времени жизни поколений нейтронов. - Дубна, 1979 - 16 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: Р3-12449).
6. Жуков Г.П., Замрий В.Н.,..., Пепельшев Ю.Н. и др. Измерительная система для изучения флуктуаций параметров импульсного реактора ИБР-2. - В сб.: Материалы II Международной школы по автоматизации научных исследований. М.:Изд.АН СССР, 1987, с.269.
7. Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д. Спектральный анализ статистических параметров импульсного реактора ИБР-2 (методика обработки). - Дубна, 1984 - 10 с (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: Р13-84-73).
8. Едунов Л.В., Нго Куанг Зуй, Пепельшев Ю.Н., Шабалин Е.П. Исследование динамических параметров модулятора реактивности

реактора ИБР-2. - Дубна, 1980 - 16 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-80-628).

9. Пепельшев Ю.Н. Исследование колебаний подвижных отражателей (энергетический пуск реактора ИБР-2). - Дубна, 1987 - 21 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-87-564).
10. Пепельшев Ю.Н. Измерение и анализ флуктуации энергии импульсов мощности реактора ИБР-2. - Дубна, 1988 - 18 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-88-58).
11. Пепельшев Ю.Н. Временные характеристики параметров шумов мощности и колебаний подвижных отражателей реактора ИБР-2. - Дубна, 1988 - 13 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-88-59).
12. Пепельшев Ю.Н., Попов А.К., Рогов А.Д. Частотные характеристики быстрой мощностной обратной связи импульсного реактора ИБР-2. - Дубна, 1983 - 10 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: Р13-83-471).
13. Пепельшев Ю.Н., Хан Цхун Гп. Использование метода цифровой демодуляции для изучения параметров взаимных колебаний модулятора реактивности и мощности реактора ИБР-2. - Дубна, 1985, - 12 с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-85-234).
14. Пепельшев Ю.Н. О возможности идентификации аномальных состояний реактора ИБР-2 по шумам мощности. - Дубна, 1987 - 8с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-87-565).
15. Китовски Я., Пепельшев Ю.Н. Применение метода распознавания образов для исследования статистических параметров реактора ИБР-2. - Дубна, 1985 - 13с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: Р13-85-657).
16. Пепельшев Ю.Н. Исследование алгоритма распознавания образов в задаче классификации спектров шумов реактора ИБР-2. - Дубна, 1985 - 8с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-85-795).
17. Баргел М., Китовски Я., Пепельшев Ю.Н. Классификация спектров шумов мощности в задаче диагностики реактора ИБР-2. - Дубна, 1988-15с. (препринт/Объед.ин-т ядерн.исслед.: I3-88-345).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 апреля 1989 года.