

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-86-140

**В.Д.Денисов, В.Н.Замрий, А.И.Надин,
В.Т.Руденко, А.С.Савватеев, В.К.Широков**

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
СИСТЕМА ПУСКА РЕАКТОРА ИБР-30**

1986

Стационарный режим работы импульсного реактора периодического действия, независимый от уровня мощности, возможен при равновесном значении пиковой надкритичности по мгновенным нейтронам^{/1/}. По этой причине перед отключением модуляции реактивности необходимо снижать коэффициент размножения нейтронов в реакторе до безопасного уровня органами регулирования. Во время возобновления стационарного режима /пуска реактора/ равновесная надкритичность должна быть восстановлена. Из-за отсутствия в этот период отрицательной обратной связи мощность реактора сильно зависит от уровня его реактивности. Особенно опасно неконтролируемое превышение равновесной надкритичности.

Для определения во время пуска реактора пиковой реактивности разработаны различные методы^{/2/}. Они основаны на измерении параметров импульса мощности, которые зависят от пиковой реактивности, меняющейся при переводе реактора из глубокого подкритического состояния в равновесный режим работы. По достижении равновесной надкритичности изменения этих параметров прекращаются. Дальнейшее повышение мощности реактора достигается увеличением интенсивности запаздывающих нейтронов. Расчетные зависимости от пиковой реактивности $|\epsilon|$ функций энергии импульса $E_{и}$ и фона $E_{ф}$, которые обычно используются при пуске реактора ИБР-30, при-

ведены на рис. 1, где 1 и 2 - доля энергии импульса $E_0 = E_{и} / (E_{и} + E_{ф})$, 3 и 4 - значения равновесной надкритичности соответственно для частоты работы реактора 100 и 5 с⁻¹, на расчетные кривые 1 и 2 нанесены экспериментальные точки. Доля энергии импульса, выделяющейся за время периода T работы реактора, определяется с помощью пусковой аппаратуры^{/2/}. Нейтронные детекторы /счетчики/, расположенные вблизи активной зоны реактора, являются датчиками импульсных сигналов для трех независимых каналов измерения. Во время пуска и вывода реактора на мощность при всех фиксированных положениях органов регулирования последовательно определяются усредненные потоки нейтронов, пропорциональные энергиям импульса $E_{и}$ и фона $E_{ф}$, а за-

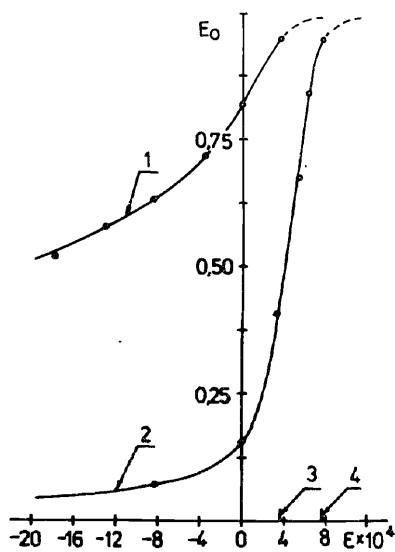


Рис. 1

тем вручную рассчитывается доля энергии импульса E_0 . Такая процедура имеет ряд недостатков, из которых остановимся на следующих. Во-первых, параметры импульса мощности флуктуируют, и последовательность их измерений вносит существенную погрешность. Для снижения этой погрешности приходится усреднять регистрируемые числа импульсов за большое число периодов T . Во-вторых, выполнение операций проводится вручную, и это отвлекает внимание оператора от контроля за состоянием реактора в режимах пуска. К недостаткам следует отнести и отсутствие автоматически фиксируемого протокола проводимых циклов измерений. На основе совершенствования действующей пусковой аппаратуры устранить все отмеченные недостатки не представляется возможным, а создание новой аппаратуры, свободной от этих недостатков, потребовало бы длительных и громоздких проектно-монтажных работ. Более оптимальным представляется подключение пусковой аппаратуры к информационно-измерительной системе /ИИС/, с 1982 года постоянно работающей на линии с устройствами реактора ИБР-30 ^{3/}.

Ранее созданная ИИС ИБР-30 предназначалась первоначально для регистрации важнейших параметров реактора, характеризующих надежность и безопасность его работы в стационарных режимах "5 Гц" и "100 Гц", а также для определения причин срабатывания аварийной защиты в режимах сброса мощности.

В дальнейшем возможности ИИС были существенно расширены, прежде всего, с целью обеспечения регистрации и обработки параметров в режимах пуска реактора. Примененная организация работы ИИС в реальном времени с устройствами реактора позволяет синхронно с периодами T во всех режимах ИБР-30 регистрировать без потерь реальные последовательности значений основных импульсных параметров, вести их сортировку и накопление в течение достаточно продолжительных циклов измерений для последующего представления в виде "протоколов состояния реактора".

В режимах пуска, в отличие от других режимов, требуется регистрация не амплитуды импульса мощности, а значений числа нейтронов N_n и N_f в заданных интервалах времени T_n и T_f , соответствующих длительности импульса и остающейся части периода. Для этого синхронно с периодом T формируется управляющий сигнал "Временные ворота", в интервале которого развивается импульс мощности. Используемые импульсные сигналы в режимах пуска "5 Гц" и "100 Гц" показаны на рис.2, диаграммы А и Б, где 1 - импульсы одного из трех детекторов нейтронов/пусковых каналов/; 2, 3 и 4 - управляющие сигналы "Временные ворота", "Начало ворот", и "Запуск измерений"; 5, 6, и 7 - сигналы датчиков основной и вспомогательной подвижных зон модулятора реактивности /ОПЗ-1, ОПЗ-2 и ВПЗ/. В режиме пуска "5 Гц" за время $T = 200$ мс регистрируются значения числа импульсов N_n и N_f /соответственно в интервалах времени $T_n = 1000$ мкс и $T_f = T - T_n$ /, скорость C подвижной зоны ОПЗ-1/длительности 10 интервалов времени между сигналами ОПЗ-1 и ОПЗ-2/ и относительный фазовый сдвиг Φ подвижных

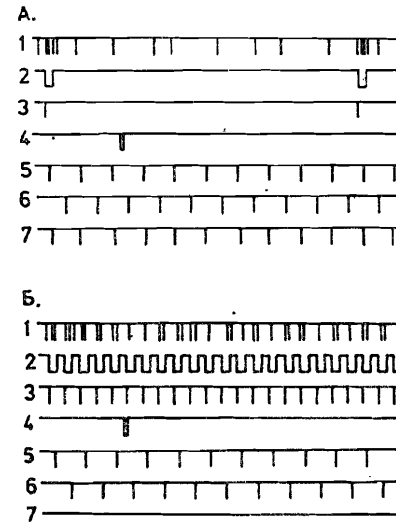


Рис. 2.

ступаемому при включении пусковой аппаратуры, с некоторой задержкой T_z может начаться цикл измерений заданной длительности T_c . Величина задержки и длительность цикла устанавливаются, например, по числу отсчитываемых периодов N_z и N_c следования импульсов "Начало ворот". После окончания цикла измерений для очередного этапа пуска и вывода реактора на мощность в ЭВМ вычисляются и выводятся значения функций энергий импульса и фона, вероятностные оценки распределения значений параметров C и Φ модулятора реактивности, а также величины основных аналоговых параметров систем реактора, с указанием режима пуска, даты и текущего времени T_t окончания цикла измерений.

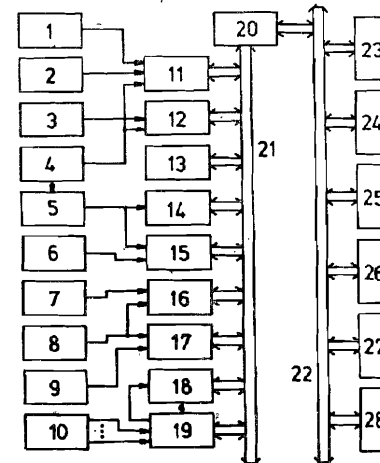


Рис. 3.

зон ОПЗ и ВПЗ /длительности 10 интервалов между сигналами ВПЗ и ОПЗ-1/, а в режиме пуска "100 Гц" за время $T = 10$ мс - значение чисел N_n , N_f и скорости C . Для повышения достоверности контроля при пуске реактора используется счет числа импульсов N_n и N_f от трех пусковых каналов. Следовательно, в режимах пуска количество синхронно регистрируемых импульсных параметров возрастает с 2-3 до 7-8 за период T . Кроме того, остается необходимость вести и не синхронизированные с периодом T измерения медленно меняющихся аналоговых параметров M /таких, как температура, расход воздуха для охлаждения активной зоны/ с частотой ~ 10 с⁻¹.

По сигналу "Запуск измерений", поступающему при включении пусковой аппаратуры, с некоторой задержкой T_z может начаться цикл измерений заданной длительности T_c . Величина задержки и длительность цикла устанавливаются, например, по числу отсчитываемых периодов N_z и N_c следования импульсов "Начало ворот". После окончания цикла измерений для очередного этапа пуска и вывода реактора на мощность в ЭВМ вычисляются и выводятся значения функций энергий импульса и фона, вероятностные оценки распределения значений параметров C и Φ модулятора реактивности, а также величины основных аналоговых параметров систем реактора, с указанием режима пуска, даты и текущего времени T_t окончания цикла измерений.

Информационно-измерительная система для режимов пуска реактора ИБР-30 показана на рис.3, где 1÷3 - блоки отбора и формирования импульсов трех пусковых каналов; 4÷6 - блоки формирования управляющих сигналов "Временные ворота", "Начало ворот", "Запуск измерений"; 7÷9 - блоки сигналов датчиков ОПЗ-2, ОПЗ-1, ВПЗ; 10 - блоки нормализаторов аналоговых сигналов M ; 11 и 12 - счетчики числа импульсов N_n и N_f ; 13 - блок "Часы" для считывания времени T_t ; 14 и 15 - счетчики с установкой отсчитываемого числа импульсов N_c и N_z ; 16

и 17 - кодировщики временных интервалов С и Ф; 18 и 19 - аналого-цифровой преобразователь и мультиплексор аналоговых сигналов М; 20 и 21 - контроллер связи и магистраль крейта КАМАК; 22÷28 - магистраль микро-ЭВМ MERA 60-30, процессор "Электроника-60", оперативная память /расширена до 28 К слов/, накопитель на двух гибких магнитных дисках, пульт оператора - дисплей с клавиатурой, терминал - печатающее устройство с клавиатурой, перфоленточное устройство ввода-вывода /на рис.3 не показаны блоки формирования импульсов мощности, старта реактора и сброса мощности, кодировщик амплитуды импульса и их связи, используемые после перехода к стационарным режимам^{3/}/. Блоки 1÷4 формирования импульсов пусковых каналов и управляющего сигнала "Временные ворота" подключаются к счетчикам 11, 12, а блоки 5, 6 сигналов "Начало ворот" и "Запуск измерений" - к счетчикам 14, 15 /в режимах пуска/. Сигналы ОПЗ-2, ОПЗ-1 из блоков 7, 8 и сигнал ВПЗ из блока 9 /в режиме пуска "5 Гц", рис.2А/ подаются на входы кодировщиков 16, 17. Нормализаторы 10 связаны с мультиплексором 19 и преобразователем 18.

В крейте КАМАК размещается ряд типовых блоков счетчиков - четыре двоичных счетчика /по 16 разрядов/ с входом управления, счетчик с установкой экспозиции /10 декад/, "часы" соответственно типов КС017, КС013, КВ004^{4/}, временной кодировщик ВК-5^{5/}, а также измерительные блоки - преобразователь АЦП-12^{6/} и мультиплексор МСВУ^{7/}, разработанные для измерения параметров систем реактора и других установок в условиях интенсивных электрических помех. Подключение разработанных помехоустойчивых нормализаторов позволяет уменьшить погрешность, обусловленную основной помехой 50 Гц, без заметного увеличения динамической погрешности. Блок КС017 модифицирован так, что входы двух счетчиков открыты, а входы двух других закрыты, когда на вход управления подается сигнал "Временные ворота" длительностью T_{μ} . В блоке КС013 дополнительно введен вход управления^{8/}, предназначенный для подключения сигнала "Запуск измерений".

Измерения параметров реактора в режимах пуска могут начинаться после установки в блоках счетчиков 14, 15 значений экспозиции N_{μ} , N_{Σ} , в блоках 16-19 режима работы, статуса. При поступлении сигнала "Запуск измерений" в блоке 15 сбрасывается счетчик и разрешается счет импульсов. После отсчета N_{Σ} импульсов "Начало ворот" поступает из этого блока в процессор ЭВМ соответствующий сигнал запроса Е1, по которому начинается цикл измерений. При этом в блоке 14 программно сбрасывается счетчик и разрешается счет импульсов. После отсчета N_{μ} импульсов "Начало ворот" из блока 14 поступает сигнал запроса Е2, по которому завершается цикл измерений. В начале очередного цикла измерений в блоках 11, 12 программно выполняется сброс счетчиков, а в конце - считывание накопленных данных /3 числа N_{μ} и 3 числа N_{Φ} /. В течение периода T по мере завершения кодирования величины каждого из параметров С, Ф, М в блоках 16, 17, 18 генерируются сигналы

запроса Е3, Е4, Е5, по которым выполняется считывание их кодов. Примененное управление работой блоков позволило "привязать" программно организуемый цикл измерений к началу работы пусковой аппаратуры, синхронизировать начало и окончание отсчитываемых интервалов цикла, кратных периоду следования сигналов "Временные ворота", с целью уменьшения погрешности определения параметров мощности реактора.

Программное обеспечение /ПО/ для режимов пуска реактора разрабатывалось на основе ранее разработанного и уже эксплуатируемого ПО^{9/}. Созданное ПО включает в себя размещенные на гибком магнитном диске основную программу и библиотеку программных модулей. Перед началом работы основная программа загружается и затем находится в оперативной памяти /ОП/. Необходимые для ее работы программные модули вызываются из библиотеки и загружаются в ОП. Для загрузки этих модулей используется свободная часть динамически распределяемого участка ОП. Этот участок по мере необходимости освобождается и заполняется модулями заново. Модульное построение созданного ПО, объем которого превышает 75 К слов, позволяет рационально использовать память микро-ЭВМ. При этом в ОП размещаются 2 буфера по 256 слов для регистрации данных, буфер ~ 512 слов и 2 буфера по 4 К слов для записи последовательностей и накопления спектров значений параметров, а также используемые программы регистрации и накопления. В библиотеке хранятся модули обработки и вывода результатов, вспомогательные, сервисные модули.

При работе с системой /в режимах пуска/ используются 4 коротких приказа, набираемых на клавиатуре пульта оператора. В ходе диалога можно задать задержку и продолжительность цикла измерений /обычно число периодов $N_{\mu} \geq 200$ /. По предварительному приказу оператора выполняется начальная установка блоков КАМАК, присваиваются начальные значения рабочим ячейкам и участкам ОП, и система переходит в состояние ожидания очередного цикла измерений. При организации обслуживания всех независимых источников запросов на прерывание предполагается, что их приоритет понижается от Е1 и Е5. Это дает возможность приоритетного обслуживания запросов в микро-ЭВМ, имеющей всего 1 уровень прерываний. Каждая программа обслуживания запроса в начале своей работы сбрасывает, а в конце восстанавливает те разряды статусного регистра контроллера, которые разрешают прохождение сигналов прерывания. Это позволяет завершить уже начатое обслуживание запроса, даже когда поступает запрос с более высоким приоритетом.

Во время цикла измерений непрерывная регистрация всех данных, считываемых из блоков КАМАК по программному каналу, обеспечивается при помощи двух поочередно используемых буферов ОП. Причем все данные, считываемые из блоков, программно сопровождаются их признаками. По этим признакам ведется отбор, сортировка данных из заполненного буфера и запись их в виде последовательностей значений каждого из параметров С, Ф, М, а также конт-

роль их количества в каждом периоде Т. Последовательности значений С и Ф преобразуются в спектры статистических распределений с целью сжатия накапливаемой информации /в резервируемых для этого буферах по 4 К слов/. Кроме того, соответствующий программный модуль контролирует и при необходимости корректирует состояние готовности оборудования ЭВМ и контроллера КАМАК /статусные регистры/, фиксируя такие коррекции.

Программные модули, вызываемые из библиотеки после окончания цикла измерений или по приказу оператора, позволяют вычислять функции энергий импульса и фона, статистические характеристики спектров и нормированные величины параметров /в физических единицах/. Результаты таких вычислений выводятся в виде "протокола состояния реактора в режиме пуска". Этот протокол содержит характеристики энергии E_n , E_f и доли энергии импульса E_0 для трех пусковых каналов; наиболее вероятное, максимальное и минимальное значения скорости С и фазы Ф; величины 9 параметров М - общий расход воздуха /м³/ч/ для охлаждения активной зоны, температура /°С/ четырех ТВЭЛ'ов сборки реактора, температура гелия на входе мишени ускорителя-инжектора, воздуха на входе в активную зону, в кожухе диска ОПЗ и в зале реактора.

Организация диалога и вывода информации /на пульт оператора и на печатающее устройство одновременно/ позволяет заносить в протокол режим пуска реактора, дату и текущее время. Сервисные программы предоставляют возможности выводить содержимое буферов ОП и вести отладку системы. Дополнительно введены 4 тестовые программы для проверки работы ОП, контроллера и блоков КАМАК, используемых в режимах пуска. Тестовые программы можно загружать с магнитного диска или с перфоленты и выявлять ошибки, неисправности оборудования.

Описанная выше информационно-измерительная система в режимах пуска реактора ИБР-30 успешно используется более года. При переходе от режимов пуска реактора к режимам его стационарной работы в ИИС необходимо осуществить частичную перекоммутацию блоков и заменить работающую систему ПО. Как показали испытания, общая загрузка используемой микро-ЭВМ всеми источниками информации, источниками прерываний на обслуживание достигает ~ 70% предельно допустимого уровня, при котором еще отсутствуют потери регистрируемой информации во всех режимах работы реактора ИБР-30.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко И.И., Ставиский Ю.Я., АЭ, 1959, 7, с.417.
2. Руденко В.Т. и др. ОИЯИ, 13-11147, Дубна, 1978.
3. Денисов В.Д. и др. ОИЯИ, 13-84-275, Дубна, 1984.
4. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-10576, Дубна, 1977.
5. Барабаш И.П. и др. ОИЯИ, 11-8522, Дубна, 1975.
6. Гуляев В.А. и др. ОИЯИ, 10-11940, Дубна, 1978.

7. Гуляев В.А. и др. ОИЯИ, 10-11927, Дубна, 1978.

8. Гуляев В.А., Замрий В.Н. ОИЯИ, Р13-81-230, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1986 года.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Денисов В.Д. и др.
Информационно-измерительная система пуска
реактора ИБР-30

13-86-140

Созданная система предназначена для регистрации параметров реактора, характеризующих надежность и безопасность его работы в режимах пуска "5 Гц" и "100 Гц", а также для определения пиковой реактивности по значениям функции энергий импульса и фона. Потоки нейтронов во временных интервалах развития импульса мощности и остающейся части периода реактора, значения периода и фазы подвижных зон модулятора реактивности, аналоговые параметры активной зоны и охлаждения регистрируются и обрабатываются с использованием блоков КАМАК и микро-ЭВМ МЕРА 60-30. Циклы измерений запускаются при включении пусковой аппаратуры. Задержка начала циклов и их длительность определяются числом отсчитываемых периодов. В состав программного обеспечения /~ 75 К слов/ входят модули обслуживания пяти запросов прерывания и регистрации данных, сортировки и записи их последовательностей, преобразования в спектры распределений, нормировки и вывода. Печатаемые протоколы содержат характеристики энергий импульса и фона, долю энергии импульса для 3 пусковых каналов, статистические характеристики скорости и фазы, величины 9 аналоговых параметров, режим пуска, дату и текущее время цикла.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Denisov V.D. et al.
Information Measuring System for Startup of IBR-30 Reactor

13-86-140

The created system is intended for registration of reactor parameters, which characterize the reliability and safety in 5 Hz and 100 Hz startup modes, and define the peak reactivity by function values of pulse and background energies. The neutron fluxes in time intervals of power pulse development and the rest part of reactor period, the values of period and phase of the movable zones of reactivity modulator, analogous parameters for active zone and cooling are registered and processed with the use of CAMAC modules and MERA 60-30 microcomputers. The measuring cycles are triggered when the start up apparatus switches on. Their start delay and duration are determined by the number of counted periods. The software (~ 75 K words) includes modules for servicing 5 interrupt requests and data registration, those for sorting and their sequence recording, transforming into distribution spectra, rating and output. The printed protocols contain the pulse and background energy performances, the pulse energy part for 3 startup channels, the speed and phase statistical characteristics, 9 analogous parameter values, startup regime, date and running time for cycle.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986