

ИМПУЛЬСНЫЕ РЕАКТОРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ (ИРПД)

Импульсный реактор на быстрых нейтронах периодического действия (ИРПД) является импульсным источником нейтронов, предназначенным для исследования методами нейтронной спектроскопии во времени процесса в ядерной физике, физике твердого тела, жидкости и т. д. (см. гл. 10). Он работает в режиме периодических очень коротких пульсаций мощности при достаточно высоком среднем ее значении. Может быть использован и для получения мощных одиночных всплеск.

§ 4.1. ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОСОБЕННОСТИ ИРПД

Импульсы мощности ИРПД в отличие от ИРСД развиваются за счет внешней модуляции реактивности, например при периодическом движении какого-либо элемента реактора, влияющего на реактивность. Периодически на короткое время достигается состояние надкритичности на мгновенных нейтронах, в течение которого мощность быстро растет, а затем, после снижения реактивности, — спадает. В остальное время реактор является глубоко подкритическим, и мощность его очень мала.

Полное число делений в каждом импульсе (энергия импульса) определяется «подсветкой» (интенсивностью постороннего источника нейтронов) до импульса и значением мгновенной надкритичности. Подсветка при достаточно высоких средних мощностях обусловлена запаздывающими нейтронами, родившимися во всех предыдущих импульсах.

При некотором значении «базовой» реактивности системы (см. гл. 6, с. 139) и, соответственно, пиковой реактивности имеет место равновесный режим работы, характеризующийся постоянной средней мощностью. При этом образование источников запаздывающих нейтронов во время каждого импульса компенсирует распад источников между импульсами, и интенсивность подсветки остается в среднем постоянной.

Характер зависимости средней мощности реактора ИРПД от времени в принципе такой же, как и для обычного реак-

тора. При малом отклонении реактивности системы от равновесного значения средняя мощность изменяется медленно. С увеличением этого отклонения скорость роста или спада мощности увеличивается. Поведение реактора в таком случае описывается уравнениями кинетики для импульсного реактора. Особенностью поведения реактора ИРПД является лишь то, что эффективная доля запаздывающих нейтронов для него много меньше этой величины для обычного стационарного реактора (см. § 5.2).

ИРПД также мало отличается от теплового режима обычного реактора, когда пульсации температуры во время всплески незначительны. Если же нагрев ядерного топлива за один импульс достигает нескольких десятков градусов, то возникают эффекты теплового удара, характерные для ИРСД. Из вышесказанного уже ясно, что ИРПД сочетается в себе черты как импульсных, так и стационарных реакторов. Во время всплески его поведение аналогично ИРСД, а изменение средних значений его параметров (мощности, температуры) качественно подчиняется законам обычного реактора постоянной мощности. Чтобы подчеркнуть особенность ИРПД как представителя нового класса реакторов, его часто называют *пульсирующим*. В нашей книге сохранено традиционное, исторически сложившееся определение.

§ 4.2. РЕАКТОРЫ ИБР И ИБР-30

Первый импульсный периодический реактор ИБР (рис. 4.1).

Первый в мире импульсный реактор на быстрых нейтронах с периодической модуляцией реактивности ИБР был создан в 1959 г. в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) и пущен в эксплуатацию в 1960 году*. Он использовался как источник нейтронов для ядерно-физических исследований с применением метода спектроскопии нейтронов по времени пролета (см. гл. 10) и оказался весьма эффективным инструментом.

Активная зона реактора ИБР в отличие от обычных стационарных реакторов имела неподвижные и подвижные части (рис. 4.2). Основная подвижная часть представляла собой вкладыш из ^{235}U , запрессованный в стальной вращающийся диск. Урановый вкладыш массой 4 кг при вращении диска

* Работа по проектированию ИБР была начата по предложению члена корпорации АН СССР Д. И. Блохина в 1955 г. в Физико-энергетическом институте (г. Обнинск) группой специалистов: Ю. Я. Стайским, И. И. Бондаренко, Ю. А. Елюмкиной, В. П. Зинovieвым, Н. В. Красноярвым, Ф. И. Украинцевым и другими под научным руководством О. Д. Качковского. Создание и пуск реактора проведены при участии сотрудников Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, руководимой лауреатом Нобелевской премии академиком И. М. Франком.

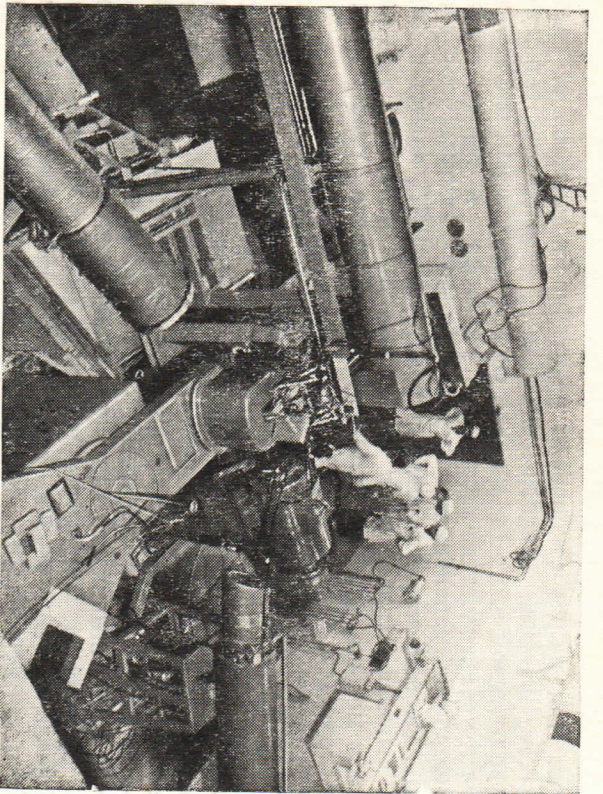


Рис. 4.1. Зал реактора ИБР (активная зона закрыта свинцовым экраном)

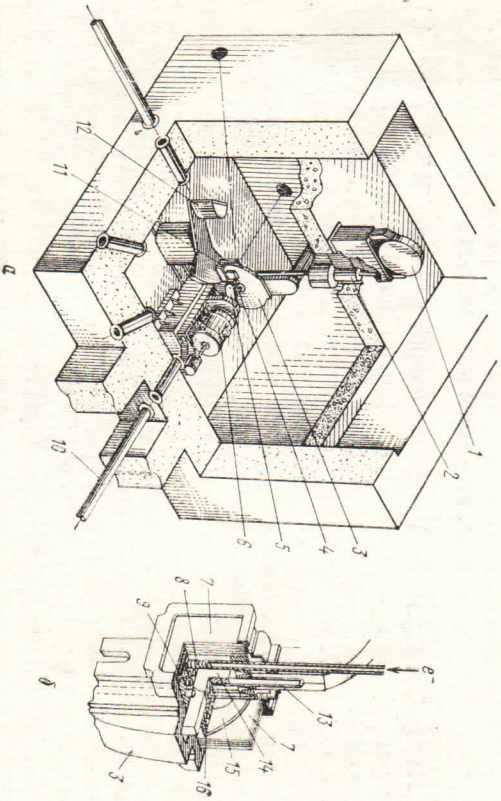


Рис. 4.2. Разрез реактора ИБР с инжектором-микротроном (а) и его активная зона (б):

1 — микротрон; 2 — фокусирующие магнитные линзы; 3 — кожух основного диска; 4 — активная зона с отражателем; 5 — кинематическая передача к валу вспомогательного диска; 6 — электроподъемник; 7 — волфрамовый отражатель; 8 — мишень электронов; 9 — регулирующий стержень; 10 — нейтроновод; 11 — внешний замедлитель нейтронов; 12 — саняющая заплата (в нерабочем положении); 13 — основной диск; 14 — основной урановый вкладыш; 15 — вспомогательный диск с вкладышем; 16 — плутониевые твэлы

периодически проходил между двумя неподвижными частями активной зоны, создавая гребенку и быстрою модуляцию реактивности (см. рис. 6.1). Окружная скорость центра вкладыша составляла 230 м/с, частота вращения — 5000 об/мин. При совмещении основной подвижной зоны (вкладыша) с неподвижной реактор становился надкритическим на мгновенных нейтронах, и развивался импульс мощности. Длительность импульса быстрых нейтронов на половине высоты была около 30 мкс.

Для изменения частоты следования всплеск мощности без искажения формы импульса служил второй, вспомогательный урановый вкладыш меньшей массы, запрессованный в малый диск, который кинематически был связан с основным диском через редуктор. Импульсы мощности развивались только в том случае, когда и основной, и вспомогательный вкладыши одновременно совмещались с неподвижной частью активной зоны. Варьируя передаточное отношение редуктора, можно было изменять частоту всплеск мощности от 83,3 имп/с до 8,33 имп/с.

Неподвижная часть активной зоны состояла из плутониевых стержней в оболочке из нержавеющей стали, охлаждаемых воздухом. Проектная тепловая мощность реактора была всего 1 кВт; в дальнейшем была достигнута мощность 6 кВт. При этом мгновенное значение мощности реактора в импульсе — 25 МВт. Именно такая высокая пиковая мощность ИБР приравнивает его по эффективности к самым крупным стационарным реакторам.

Система управления и защиты реактора ИБР принципиально мало отличалась от общепринятой на стационарных реакторах (см. гл. 8). Специфичной была лишь импульсно-токовая регистрация нейтронов.

Пуск реактора осуществлялся постепенным вводом органов регулирования в зону с контролем уровня критичности по ступени увеличения амплитуды всплеск. На мощности выше 10 Вт было возможно автоматическое поддержание уровня мощности. Аварийное отключение реактора происходило за время 0,1 с при превышении заданного уровня амплитуды нейтронного импульса или отклонения технологических параметров от нормы.

Реактор ИБР был расположен в центре зала размером $10 \times 10 \times 7$ м, бетонные стены которого обеспечивали биологическую защиту. Стены зала пронизаны нейтроноводами, которые представляли собой стальные вакуумированные трубы. На конце (или в разрывах) нейтроноводов, длина которых достигала 1000 м, устанавливались аппаратура для измерения параметров взаимодействия нейтронов с ядрами (мишени, детекторы и т. д.). Для формирования нужного спектра нейтро-

нов во внешних пучках реактор был окружен водяными замедлителями.

Подробное описание устройства реактора, а также его конструкции и усовершенствования отдельных систем читатель найдет в работах [1—7].

Действующий реактор ИБР-30 (рис. 4.3). Реактор ИБР успешно проработал до середины 1968 г., когда он был демонти-

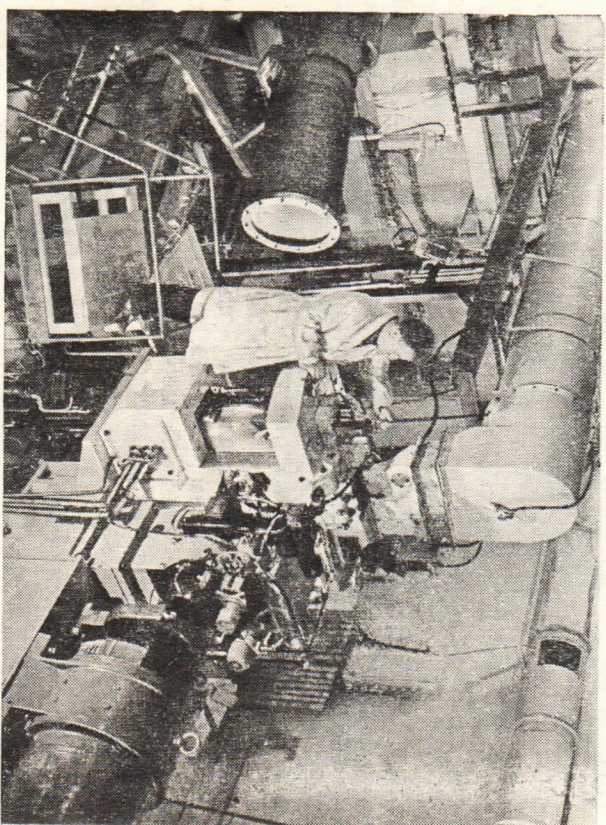


Рис. 4.3. Реактор ИБР-30. Зарядка твэлов

Рован и заменен новым импульсным реактором — ИБР-30 [6, 8, 9]. В реакторе ИБР-30 повторяется общая компоновка узлов ИБР. Несколько изменена конструкция твэлов, чтобы обеспечить съем тепловой мощности до 30 кВт. В основном подвижном диске диаметрально противоположно запрессованы два вкладыша из ^{235}U для распределения тепловой нагрузки между ними. Введен третий подвижный элемент для меленной модуляции реактивности — подвижный отражатель в виде качающегося вольфрамового стержня. При работе всех трех модуляторов реактивности (основных подвижных зон, вспомогательной подвижной зоны и подвижного отражателя) вспышки мощности реактора возникают сравнительно редко: 1 раз в течение 2—3 с. Но зато интенсивность их очень велика: в таком режиме редких периодических импульсов

было достигнуто пиковое значение мощности реактора более 1000 МВт.

Кинематическая схема реактора ИБР-30 (см. рис. 6.3) позволяет осуществлять работу почти с любой частотой повторения импульсов в диапазоне от 100 до 0,13 с⁻¹.

Бустерный режим работы ИБР. В 1964 г. на ИБР был осуществлен бустерный режим работы (см. гл. 9) [4, 5]. Для этого в помещении выше реакторного зала был установлен миниавторный циклический ускоритель — микротрон, ускоряющий электроны до энергии 300 МэВ [10] (см. рис. 4.2). Пучок ускоренных электронов короткими импульсами длительностью 1,7—2 нс (ток в импульсе был до 0,08 А) направлялся на мишень, установленную в активной зоне ИБР. В мишени, изготовленной из вольфрама и охлаждаемой потоком газа, генерировались нейтроны в фотоядерных реакциях. Эти нейтроны затем размножались в реакторе, который в момент электронного импульса находился на уровне подкритичности $(0,5-1) \cdot 10^{-2} k_{\text{эф}}$ по мгновенным нейтронам.

Запуск ускорителя управлялся детектором, связанным с вращающимся диском реактора. Средняя мощность бустера (по делениям) достигала 1 кВт при толщине импульса нейтронов 3 нс (частота вспышек была 50 Гц). Снижение длительности нейтронной вспышки в 10 раз по сравнению с реакторным режимом улучшило эффективность ИБР в нейтронно-ядерных экспериментах.

Бустерный режим ИБР-30 осуществляется с другим инжектором электронов — линейным резонансным ускорителем ДУЭ-40 [11]. Он установлен вертикально в том же надреакторном помещении. Энергия ускоренных электронов в ДУЭ-40 составляет 44 МэВ, а ток в импульсе достигает 0,2 А. Средняя мощность бустера при толщине вспышки 4 нс равна 8 кВт.

Реактор ИБР-30 попеременно (циклами по 2—3 недели) работает в реакторном и бустерном режимах; в последнем варианте ставятся те эксперименты, в которых требуется хорошее разрешение при анализе нейтронов по времени пролета (главным образом изучение ядерных резонансов). Реакторный режим предпочтительнее в исследованиях структуры и динамики твердого тела, так как он дает большую интенсивность нейтронов при достаточном (в данном случае) разрешении.

§ 4.3. РЕАКТОР ИБР-2 [8, 12, 13]

На основе опыта успешной работы ИБР был спроектирован мощный импульсный реактор периодического действия ИБР-2, создаваемый также в Дубне. Пуск реактора намечен на 1976 г.

Комплексе ИБР-2 включает в себя кроме импульсного реактора на быстрых нейтронах периодического действия с жидкометаллическим охладителем также высокопоточный линейный индукционный ускоритель электронов ДЛУ-30 [14] и экспериментальные устройства (рис. 4.4). Работа установок воз-

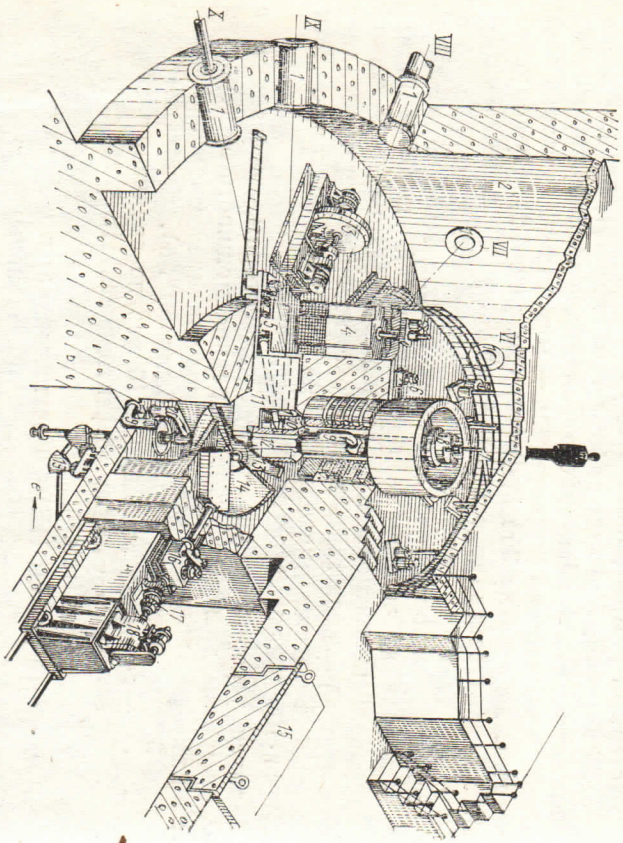


Рис. 4.4. Разрез реактора ИБР-2:

1 — нейтронный модуль; 2 — внешнее кольцо биологической защиты; 3 — механический преобразователь пучка (или монохроматор); 4 — шпинь нейтронного модуля; 5 — привод блока быстрого аварийной защиты; 6 — привод блока СВЗ; 7 — канал инвертирующей крышки сосуда быстрого действия в активной зоне; 8 — герметизирующая крышка сосуда реактора; 9 — труба для выката натрия из сосуда реактора; 10 — радиационный отражатель и замедлитель; 11 — основная часть биологической защиты; 12 — шестирядная часть сосуда реактора (активная зона); 13 — основной подвижный отражатель (дополнительный подвижный отражатель модулятора реактивности); 14 — кожух подвижных отражателей; 15 — диск для изменения скорости модулятора реактивности; 16 — редуктор и коробка скоростей; 17 — ферромагнитная муфта; 18 — синхронный двигатель; 19 — поворотные магниты электронного пучка; 20 — труба для ввода натрия

можно в двух вариантах: а) в бустерном режиме с ускорителем-инжектором и б) в импульсном режиме без инжектора. Изменением действия реактора обеспечивается периодическим изменением реактивности системы в результате перемещения части отражателя по отношению к активной зоне.

Собственно реактор. Активная зона реактора представляет собой неуправляемый шестипушечный, набранный из кассет твэлов типа кассет реакторов БР-5 или БОР-60 с шагом 27 мм (рис. 4.5). Сборки вставляются с натягом в нижнюю опорную стальную плиту; в каждой из них — по семь твэлов, дистан-

понированных друг от друга проволокой диаметром 0,5 мм. Высота активной части твэла, набранной из таблеток спеченной двуокиси плутония, составляет 44 см. Перегрузка кассет осуществляется без нарушения герметичности корпуса реактора; отработавшие кассеты перед выгрузкой расхлаждаются в среде натрия в пространстве над активной зоной. Семь цент-

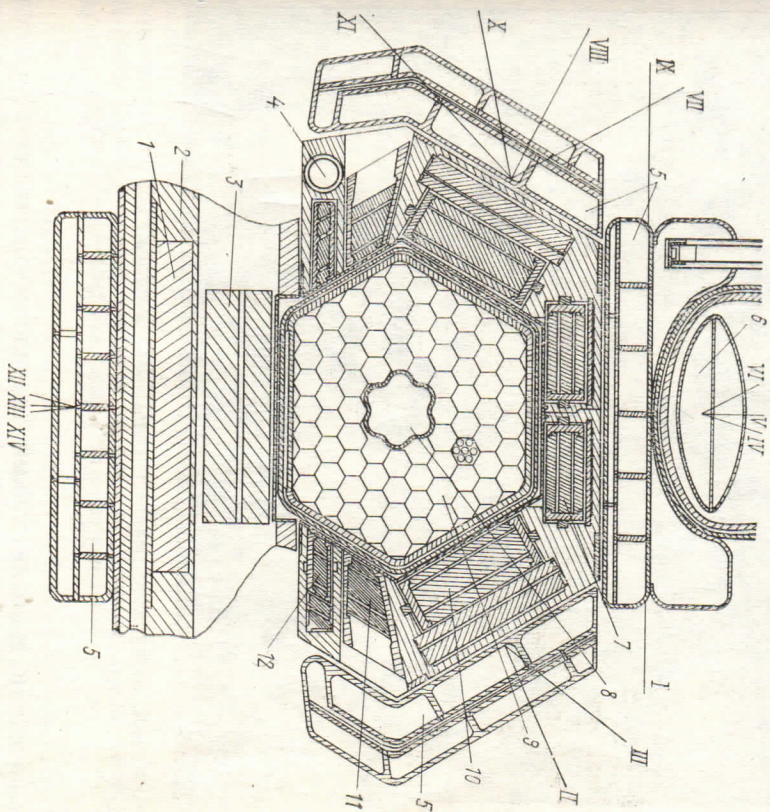


Рис. 4.5. Горизонтальное сечение реактора ИБР-2:

1 — дополнительный подвижный отражатель (бериллий); 2 — диск дополнительного отражателя (алюминий); 3 — основной подвижный отражатель; 4 — стержень АР; 5 — волновой замедлитель; 6 — «холодный» замедлитель; 7 — блок меленной аварийной защиты; 8 — подложка мишени ускорителя; 9 — пакет твэлов; 10 — блок компенсации реактивности; 11 — блок быстродействующей аварийной защиты; 12 — блок промежуточного регулятора; I, II и т. д. — направления нейтронных пучков

Рядных ячеек зоны занимает канал, нижняя часть которого используется для размещения мишени линейного ускорителя. Верхняя — для облучения образцов.

Активная зона размещается в двухстенном стальном корпусе: пространство между стенками является контрольным на протекание натрия и служит для подачи горячего воздуха при

разогреве аппарата. Бокорые стороны шестигранника защищены вольфрамовыми блоками толщиной 80 мм, выполняющими роль органов регулирования. Вольфрамовые блоки охлаждаются воздухом.

Модулятор реактивности [13]. К наибольшей стороне шестигранника активной зоны примыкают основной подвижный от-

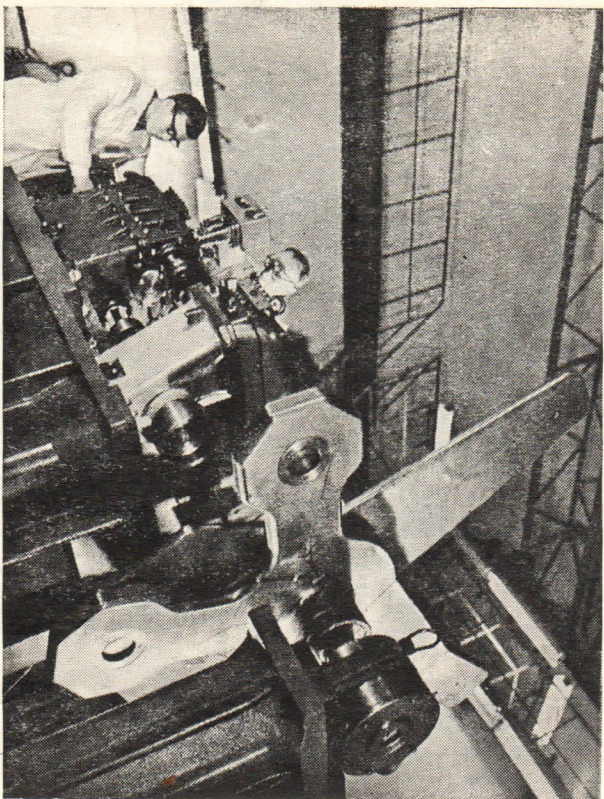


Рис. 4.6. Модулятор реактивности ИБР-2 (опытный образец без термостатурующей кожуха); в рабочем варианте дополнительный отражатель — это алюминированный диск с вкладышем из бериллия

ражатель и дополнительный подвижный отражатель, расположенные соосно (рис. 4.6). Ротор основного подвижного отражателя имеет три трапецеидальных выступа, один из которых — собственно отражатель, а два других служат для баланса. Радиус подвижного отражателя 120 см, толщина основного отражателя 6,5 см. Ротор подвижного отражателя приводится во вращение со скоростью 3000 об/мин электродвигателем переменного тока. Вращение ротора дополнительного отражателя, имеющего два плеча, осуществляется тем же двигателем через редуктор с переменным передаточным отношением, что позволяет получать четыре частоты следования импульсов реактора — 50, 25, 10, 5 имп./с. Роторы подвижных отражателей вместе с двигателем и редуктором заключены в тонкостенный герметичный кожух, заполненный гелием.

Управление и защита. В принятой схеме расположения реакторов реактивности (см. рис. 4.5) блоки 10 предназначены для компенсации выгорания ^{239}Pu и температурного эффекта реактивности, а промежуточный регулятор 12 — для плавного изменения реактивности при пуске реактора. Автоматический регулятор 4 перемещается приводом от шатового двигателя, обладающего малой инерционностью. Безопасность реактора обеспечивается четырьмя блоками аварийной защиты общей эффективности 3,2%, из которых два приводятся в действие пневматической машиной поступательного действия. Срабатывание быстросрабатывающей аварийной защиты (эффективность БАЗ 0,4%) происходит между импульсами мощности за время 0,02 с. Вывод медленно действующей аварийной защиты (МАЗ) осуществляется под действием собственной тяжеи при отключении электромагнитов.

Система охлаждения. Принципиально система охлаждения активной зоны ИБР-2 сходна с системой стационарного реактора БР-5, которая доказала свою надежность в течение длительной эксплуатации. Схема охлаждения — трехконтурная, двухпетлевая. В первом и втором контурах теплоносителем является жидкий натрий, в третьем — воздух. Двухпетлевая схема принята из соображений безопасности. Производительность одной петли будет достаточна для обеспечения работоспособности реактора при пониженной мощности. Циркуляция натрия в первом и втором контурах будет поддерживаться электромагнитными насосами. Температура натрия на входе в зону — 300°С, на выходе — 400°С. Расход теплоносителя при средней мощности 4 МВт — 120 т/ч.

В проекте системы охлаждения предусмотрены условия, обеспечивающие естественную циркуляцию натрия в случае выхода электромагнитных насосов из строя.

Основные характеристики реактора приведены ниже; данные получены расчетом с применением программ метода Монте-Карло и подтверждаются результатами критической сборки реактора [13]:

Тепловые характеристики	
Средняя тепловая мощность	4 МВт
Мощность в импульсе:	
при частоте 5 Гц	8300 МВт
при частоте 50 Гц	800 МВт
Мощность, выделяемая между импульсами	0,24 МВт
Мощность, выделяемая в побочных импульсах при частоте 5 Гц	0,026 МВт
Теплоноситель	Жидкий натрий

Температура натрия:

на входе в реактор	300 °С
на выходе	400 °С
Температура двуокиси плутония максимальная	1860 °С
Средний подогрев топлива за вспышку мощности при частоте 5 Пц	25 °С
Среднее удельное тепловыделение	200 кВт/л
Объемный коэффициент неравномерности тепловыделения	1,6

Физические характеристики

Объем активной зоны	20 л
Критическая масса	100 кг PuO ₂
Подуширина импульса быстрых нейтронов при частоте 5 Пц	92 мкс
Время жизни поколений быстрых нейтронов	4,2·10 ⁻⁸ с
Полная эффективность модулятора реактивности параболы реактивности подвижного отражателя	4·10 ⁻² кэф
Средняя скорость подвижного отражателя относительно активной зоны	2·10 ⁻⁴ см-2
Равновесная импульсная накрывчивость:	314 м/с
при частоте 5 Пц	1,65·10 ⁻³ кэф
при частоте 50 Пц	1,14·10 ⁻³ кэф
Эффективная доля запаздывающих нейтронов Импульсная доля запаздывающих нейтронов:	2,1·10 ⁻³
при частоте 5 Пц	2·10 ⁻⁴
при частоте 50 Пц	2,4·10 ⁻⁴
Число делений в импульсе при частоте 5 Пц	2,5·10 ¹⁶
Угелча нейтронов из реактора в телесный угол 4 т (средняя по времени)	1,75·10 ¹⁷ нейтр./с
Плотность потока тепловых нейтронов с поверхности замедлителя (плоский слой воды):	5,8·10 ¹² нейтр./(см ² ·с)
средняя по времени	
то же в максимуме вспышки при частоте 5 Пц	10 ¹⁶ нейтр./(см ² ·с)
в сквозном тангенциальном канале в максимуме вспышки	9·10 ¹⁶ нейтр./(см ² ·с)
Плотность потока быстрых нейтронов с $E > 0,01$ МэВ в центральном канале реактора (средняя по времени)	3·10 ¹⁴ нейтр./(см ² ·с)
Кампания реактора при номинальной мощности до выгорания 5%	1000 сут

Экспериментальные устройства. Реактор располагается в центральной части биологической защиты, выполненной в виде двух концентрических колец (см. рис. 4.4). Пространство между кольцами защиты предназначено для размещения экспериментального оборудования. Оно служит также местом монтажа и демонтажа стационарных отражателей, водяных замедлителей и т. п., устанавливаемых на откатных защитных тележках. Внешнее кольцо бетонной защиты на 270° охватывается экспериментальным залом площадью 2600 м².

Горизонтальные каналы для вывода нейтронных пучков и расположение замедлителей вокруг активной зоны реактора изображены на рис. 4.4, 4.5. Замедлители 5 — водяные, каждый состоит из независимых секций, что позволяет изменять их толщину (35, 45, 55 мм) для обеспечения оптимальных условий выхода нейтронов в требуемом энергетическом диапазоне. Можно осуществлять гомогенное «отравление» замедлителя и любой его секции независимо. Замедлитель, размещенный за подвижным отражателем, предполагается использовать в основном как источник резонансных нейтронов. Он просматривается тремя горизонтальными каналами диаметром 200 мм, имеющими базы 1000 и 500 м. Бокоры замедлители будут служить источниками тепловых и нагретых нейтронов. Они просматриваются шестью горизонтальными каналами (II, III, VII, VIII, X, XI) диаметром 200 мм и двумя наклонными диаметром 150 мм. Каналы I и IX представляют вместе сквозной тангенциальный канал, который можно использовать, например, для работ на «нейтронном газе» [изучение параметров (n, n -рассеяния) для генерации нейтронов, обогащенных холодными нейтронами ($\lambda > 4 \text{ \AA}$), за водяным замедлителем размещается жидководородный замедлитель 6 с объемом жидкого водорода в камере 1000 см³. Для его охлаждения используется газообразный гелий с входной температурой 11,5° К. Максимальная температура водорода в камере составляет 23—24° С; его кипение устраняется поддержанием в камере замедлителя давления около 4 атм. Ожидается, что средняя температура нейтронов, покидающих замедлитель, будет равна 50° К. «Холодный» замедлитель просматривается горизонтальными каналами (IV—VI) диаметром 150 мм. Для увеличения выхода нагретых нейтронов вместо бокового водяного замедлителя можно установить «горячий» замедлитель.

На реакторе предусмотрены три пневмопульты для транспортировки образцов; ожидаемые интенсивности нейтронных потоков приведены на с. 98.

Устройства для быстрого режима. В центре активной зоны реактора установлена мишень, в которой генерируется 0,5·10¹³ нейтронов на один импульс ускоренных электронов. Активный материал мишени — вольфрам, теплоноситель — жидкий натрий; объем мишени — около 200 см³. Пучок электронов транспортируется по вакуумированному тракту от ускорителя сначала горизонтально, затем точно по вертикальной оси реактора отклоняется на 90° вверх и выводится снизу в активную зону, центр которой расположен на высоте 6 м. Полюс мишени отделена от электропровода окном из бериллия. Возможна работа бустера без модуляции реактивности и с модуляцией реактивности. В первом случае подвижные отражатели не вращаются и выведены из области реактора

($|e_m| > 2 \cdot 10^{-2}$). Во втором случае вращается только основной подвижный отражатель, причем запуск ускорителя синхронизован с прохождением подвижного отражателя мимо активной зоны.

Параметры бустера ИБР-2 даны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики бустерного режима ИБР-2 при разных уровнях подкритичности (для вольфрамовой мишени)

Подкритичность, $ e_m $	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Полуширина нейтронной вспышки, мкс	1,0	1,6	3,0	7,1	14,1
Средняя мощность бустера, МВт	0,11	0,22	0,44	1,06	2,20

§ 4.4. ДРУГИЕ ИРПД И ПРОЕКТЫ

Успешная работа ИБР и ИБР-30 стимулировала разработку новых проектов ИРПД и импульсных бустеров за рубежом и в Советском Союзе; создание и пуск некоторых из них описывается в конце 70-х годов. Характеристики ИРПД даны в табл. 4.2, а импульсных бустеров — в гл. 9.

Таблица 4.2

Основные характеристики действующих и проектируемых ИРПД

Наименование и местоположение реактора	Топливо	Средняя мощность, МВт	Полуширина импульса быстрых нейтронов, мкс	Частота импульсов, Гц	Доля фоновой мощности, %	Плотность потока тепловых нейтронов на поверхности внешнего замедлителя, нейтр./(см ² ·с)
ИБР-30, Дубна, СССР	Pu	0,025	70	0,13—100	≤ 5	$6 \cdot 10^{10}$
ИБР-2, Дубна, СССР	PuO ₂	4	92	5—50	≤ 8	$6 \cdot 10^{12}$
SORA (проект), Испра, Италия	U+Mo	1	65	50	17	$2,5 \cdot 10^{12}$
ИРР (проект), Бруксхейвен, США	PuO ₂ +Mo	30	90	20—60	~ 7	$(2-3) \cdot 10^{13}$
КРФР, Мадраас, Индия	PuO ₂	0,030	50	50	6—13	$5 \cdot 10^{10}$
УАУО1, Токай, Япония	U	0,002	58	1—15	—	—

Реактор КРФР, сооружаемый в Индии, имеет много общего с ИБР; использование двуокиси плутония вместо металлического плутония и подвижного отражателя вместо уранового диска для модуляции реактивности упрощает изготовление установки.

Наиболее детально и основательно разработан проект ИРПД SORA (Sorgenta Rarida) в центре ядерных исследований Евратома в г. Испра (Италия) [15, 16]. В этом проекте в общем повторяется компоновка главных узлов реактора, принятая для ИБР-2. Основные отличия SORA от ИБР-2 — металлическое урановое топливо, малый размер активной зоны (10 л), отсутствие перегрузочного устройства, меньшая мощность (1 МВт). Композиция реактора SORA, с одной стороны, обеспечивает более высокую плотность потока нейтронов в замедлителе на единицу мощности реактора, но, с другой стороны, сокращает в 3 раза время топливной кампании. К тому же невозможна оперативная замена отдельных дефектных твэлов. Решение о реализации этого проекта пока не принято Евратомом.

При проектировании мощного ИРПД с жидкометаллическим охлаждением в Бруксхейвене [17] был проведен большой комплекс экспериментальных и расчетных работ по обоснованию и оптимизации технических решений.

В японском импульсном реакторе на быстрых нейтронах УАУО1 (см. с. 15), который работает с 1975 г., использован принцип модуляции реактивности, совершенно отличный от принципов модуляции реактивности в описанных выше реакторах. Импульсы мощности длительностью 58 мкс формируются путем периодического прострела «пуль» из нейлона сквозь активную зону со скоростью 900 м/с; для увеличения глубины модуляции реактивности применяются ДМР возвратно-поступательного действия. Длинные импульсы (более 450 мкс) с частотой повторения менее 1,5 Гц могут генерироваться при циркуляции той же «пуль» по замкнутому каналу со скоростью до 42 м/с путем продува воздуха. Всего на реакторе УАУО1 имеется пять МР. Максимальная мощность в импульсе при непрерывной работе периодической работе (или в режиме однократных вспышек) — 1 ГВт; средняя мощность реактора при непрерывной работе — 2 кВт (реактор охлаждается воздухом). Другая интересная особенность УАУО1: он установлен на рельсах и может перемещаться в четыре места для работы с различными экспериментальными устройствами — тепловой колонной, спектрометрами по времени пролета и по времени замедления в свинце, гелиевым криостатом для охлаждения при низких температурах и др.