

Комплекс БФС-1—микротрон для изучения спектров нейтронов быстрых реакторов

[ЛЕЙПУНСКИЙ А. И., ОРЛОВ В. В., КАЗАНСКИЙ Ю. А., ЗИНОВЬЕВ В. П., УКРАИНЦЕВ Ф. И., КЛИНЦОВ Н. А., ШАПАРЬ А. В., АНКИН Г. Н., ВАСИН В. Т., ЕФИМЕНКО В. Ф., КЛЕМЫШЕВ П. С., ПАРАЩУК В. Л., РОМАНОВСКИЙ В. А., РЫДКИЙ В. Е., САЗОНЕНКОВ Г. В., СОКОЛОВ В. И., ФИЛЯЕВ В. Ф., ЧОПОРОВ Ю. М.]

УДК 621.039.526

Для создания промышленных энергетических реакторов на быстрых нейтронах необходимо знать с высокой точностью основные характеристики реакторов. В связи с этим на быстрых критических сборках нулевой мощности (БФС) проводятся комплексные исследования с целью улучшения точности расчета характеристик энергетических реакторов. В этих исследованиях важная роль отведена изучению спектров нейтронов. Это связано с тем, что число реакций, происходящих в реакторе (деление, поглощение, рассеяние), определяется взаимодействием нейтронов с ядрами в широком энергетическом диапазоне (от 100 эв до 10 Мэв), где сечения взаимодействия претерпевают значительные изменения. Поэтому для точного определения числа процессов, происходящих в реакторе, необходимы точные сведения о спектрах нейтронов. Экспериментальное изучение спектров нейтронов необходимо также для проверки и корректировки многогрупповых систем констант и совершенствования расчетных методик. Различные вопросы, связанные с изучением спектров нейтронов в быстрых реакторах, были рассмотрены на Международном совещании по спектрометрии быстрых реакторов в Аргонской лаборатории (США) [1]. Из всех способов измерения спектров нейтронов в быстрых критических сборках наибольший диапазон имеет метод времени пролета. Нижний энергетический предел метода времени пролета определяется отношением числа нейтронов в спектре при данной энергии к фону запаздывающих нейтронов и находится в пределах 10—100 эв в зависимости от жесткости спектра. Верхний предел определяется длиной пролетной базы l , следовательно, мощностью импульсного источника нейтронов.

Метод времени пролета позволяет измерять спектры нейтронов утечки из подкритического реактора (обычно при $k_{\text{эфф}} = 0,9 \div 0,97$). Спектры нейтронов внутри критического реактора можно получить из измеренных спектров, если ввести поправки, обусловленные отличием спектров скалярного и векторного потоков нейтронов, возмущением спектра выводным каналом и различием спектров нейтронов в критическом и подкритическом реакторах. Эти поправки изучались в ряде работ [2—4], где было установлено, что они невелики. Так, по данным работ [1, 3, 4], различие спектров в центре активной зоны критического и подкритического ($k_{\text{эфф}} = 0,85 \div 0,87$) реакторов в интервале энергий 100 эв — 10 Мэв не превышает 10%. Возмущение спектра выводным каналом диаметром 90 мм, по данным работы [2], составляет не более 3%. При энергии ниже 1 Мэв различие спектров скалярного и векторного потоков нейтронов в центре реактора, где градиент нейтронного потока мал, составляет несколько процентов [2]. Таким образом, в измеренные спектры утечки нейтронов из центра активной зоны необходимо вносить расчетные поправки, которые составляют около 15%.

В Физико-энергетическом институте измерения спектров нейтронов в быстрых сборках методом времени пролета проводятся на комплексе БФС-1 — микротрон.

Стенд БФС-1 позволяет моделировать быстрые сборки при размерах активной зоны до 1,6 м. По своей конструкции он представляет собой стальной бак диаметром 2 м и высотой 2 м, окруженный защитой. В баке на опорной плате с шагом гексагональной решетки 51 мм устанавливаются вертикально трубы-матрицы диаметром 50 мм с толщиной стенки 1 мм, в которые

загружаются реакторные материалы в виде дисков диаметром 46,7 мм и толщиной 10 или 5 мм. Конструкция стендла подробно описана в работе [5].

Импульсный режим работы реактора обеспечивается введением в активную зону подkritической сборки ($k_{\text{эфф}} = 0,9 \div 0,97$) импульсного источника нейтронов. В качестве такого источника используется урановая или свинцовая мишень электронного ускорителя микротрона, расположенная на границе между активной зоной и отражателем. Мишень представляет собой цилиндр диаметром 40 мм и высотой 60 мм; она расположена в одном из каналов реактора и охлаждается сжатым воздухом.

Применяемый микротрон описан в работе [6]. При измерении реакторных спектров методом времени пролета он работал в следующем режиме: энергия ускоренных электронов 29 Мэв; длительность импульса 2 мксек; ток в импульсе 10 ма; частота 50 гц; средний выход нейтронов из мишени $1 \cdot 10^{11}$ нейтр/сек.

Нейтронный пучок выводится из центра сборки через выводной канал сечением 100×100 мм. Выведенные нейтроны направляются в установленный в грунт вакуумированный нейтроновод, который представляет собой стальную трубу диаметром 500 мм; причем на расстоянии 170 м последний увеличивается до 800 мм, а на расстоянии 550 м — до 1000 мм. Общая длина нейтроновода 750 м; вдоль его длины на расстояниях 53, 230 и 760 м от центра реактора расположены измерительные камеры.

Нейтронный пучок, выведенный из реактора, формируется двумя коллиматорами. Первый из них находится внутри нейтроновода на расстоянии 10 м от центра реактора, второй — в первой измерительной камере на расстоянии 53 м от реактора.

Размеры коллимирующих отверстий выбираются такими, чтобы в детектор не могли попасть нейтроны со стенок выводного канала, а также нейтроны, однократно рассеянные на стенках нейтроновода. При проведении измерений на пролетной базе 230 м диаметры отверстий выбираются равными 64 и 86 мм для первого и второго коллиматоров соответственно. Имеется также несколько диафрагм, установленных в нейтроноводе для уменьшения числа нейтронов, попадающих в детектор после рассеяния. На рис. 1 показаны основные узлы комплекса БФС-1 — микротрон и спектрометр по времени пролета.

Специально для измерения нейтронных спектров методом времени пролета разработан высо-

коэффективный детектор нейтронов, представляющий собой полиэтиленовый блок, в котором расположены 120 гелиевых счетчиков типа СНМ-43; каждый счетчик окружен кадмиевым чехлом. Параметры детектора: эффективность регистрации нейтронов составляет 0,1 для $E = 30$ эв и 0,063 для $E = 200$ кэв (она плавно зависит от энергии)*; временная неопределенность 2—3 мксек; площадь рабочей поверхности 2500 см^2 ; собственный фон 1 имп/сек. Детектор практически не чувствителен к γ -излучению. Временной анализ при проведении измерений осуществляется на аппаратуре реакторного измерительного центра ФЭИ, экспериментальные данные обрабатываются на ЭВМ «Наури-2».

В настоящее время проводятся измерения спектра нейтронов из сборок БФС в интервале энергий 30 эв — 200 кэв на пролетной базе длиной 230 м. В качестве примера на рис. 2 приведена мягкая часть спектра нейтронов утечки сборки БФС-27. Измерения осуществлялись при коэффициенте размножения реактора $k = 0,9$. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ составляло при этом 60% для нейтронов с энергией 100 кэв и 6% — для 1 кэв. Скорость счета на канал 5 мксек при токе микротрона 7 ма составляла $6 \cdot 10^3$ имп/ч в максимуме спектра и $1,5 \cdot 10^2$ имп/ч при энергии 1 кэв. Постоянный фон, обусловленный запаздывающими нейтронами и собственным фоном детектора, был равен 4 имп/ч на канал 5 мксек. Он измерялся непосредственно перед следующей вспышкой реактора во временном окне длительностью 1280 мксек. Переменная (коррелированная) составляющая фона измерялась методом резонансных фильтров. Использовались резонансы кобальта (132 эв и 5,015 кэв), марганца (337 эв и 2,375 кэв) и натрия (2,85 кэв). Относительные значения фонов приведены ниже.

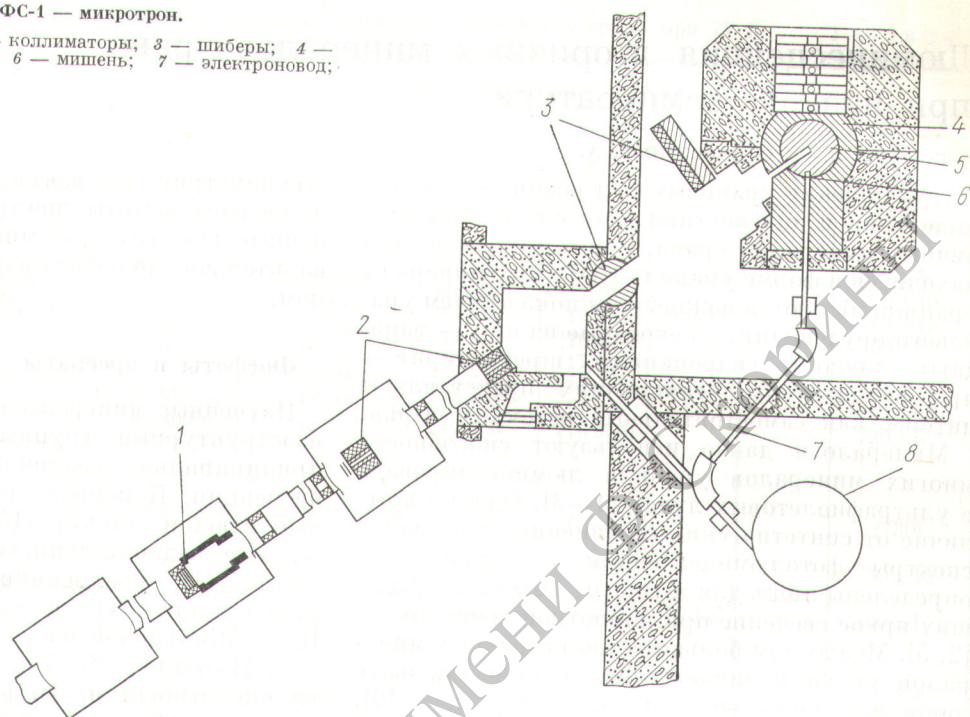
Энергия нейтронов, эв	132	337	2850	5015
Полный фон, %	35	13	20	7
Переменная составляющая фона, %	1	1,5	15	5

При обработке результатов измерений вводятся поправки, из которых наиболее существенными являются поправки на разрешение и ослабление пучка нейтронов в заглушках нейтроновода и воздухе. Для приведенного примера (см. рис. 2) первая поправка составляла 30% при энергии нейтронов 170 кэв и менее 5% при

* В области энергий 30 эв — 50 кэв относительный ход эффективности, измеренный экспериментально, известен с точностью 10%.

Рис. 1. Схема комплекса БФС-1 — микротрон.

1 — детектор в защите; 2 — коллиматоры; 3 — шиберы; 4 — БФС-1; 5 — активная зона; 6 — мишень; 7 — электроновод; 8 — микротрон.



энергии меньше 1 кэв. Эта поправка существенно зависит от длительности импульса реактора, с уменьшением длительности она уменьшается. Величина второй поправки обусловлена наличием относительно большого количества воздуха (15 м) и алюминия (8 мм) на пути пучка нейтронов. Ошибка измеренного спектра утечки из подкритического реактора составляет 15% в интервале энергий 500 эв — 10 кэв, 20% ниже 500 эв и 30% при энергии выше 50 кэв.

Следует отметить, что метод времени пролета не позволяет получать всю необходимую информацию о спектре нейтронов быстрого реактора. На стенде БФС-1 при изучении спектра нейтронов в интервале энергий 10 кэв — 2 Мэв применяется водородный пропорциональный счетчик, а энергии выше 0,8 Мэв — сцинтиляционный спектрометр с кристаллом стильбена.

В заключение авторы пользуются случаем выразить глубокую благодарность И. Г. Морозову за постоянное внимание к работе, Ю. Я. Стависскому и А. И. Абрамову за полезные обсуждения на стадии проектирования комплекса, а также всем сотрудникам ФЭИ, принимавшим участие в создании установки.

Поступила в Редакцию 1/II 1973 г.

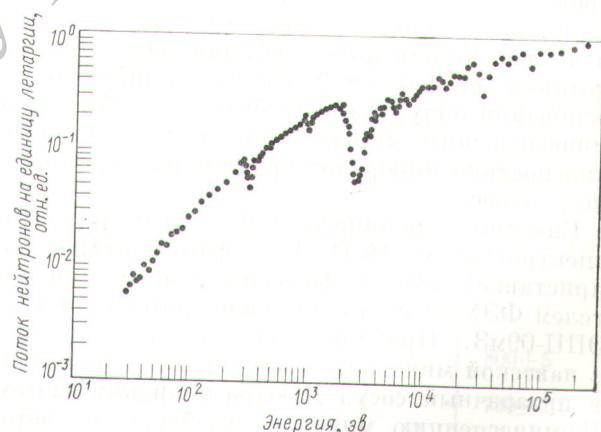


Рис. 2. Спектр нейтронов утечки из центра критической сборки БФС-27.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Fast reactor Spectrum Measurement and Their Interpretation. Vienna, IAEA, 1971, p. 138.
- Sanders J. Ibid., p. 36.
- Oei T. RCN-122, 1970.
- Coates M. e. a. J. Nucl. Energy, 1968, v. 22, p. 547.
- Бондаренко В. В. и др. «Атомная энергия», 1968, т. 24, с. 82.
- Абрамов А. И. и др. Микротрон ФЭИ на энергию 30 Мэв. Препринт ФЭИ-211, 1970.