

УДК 621.039.51.519

Реакторные испытания системы регулирования параметров петлевых каналов

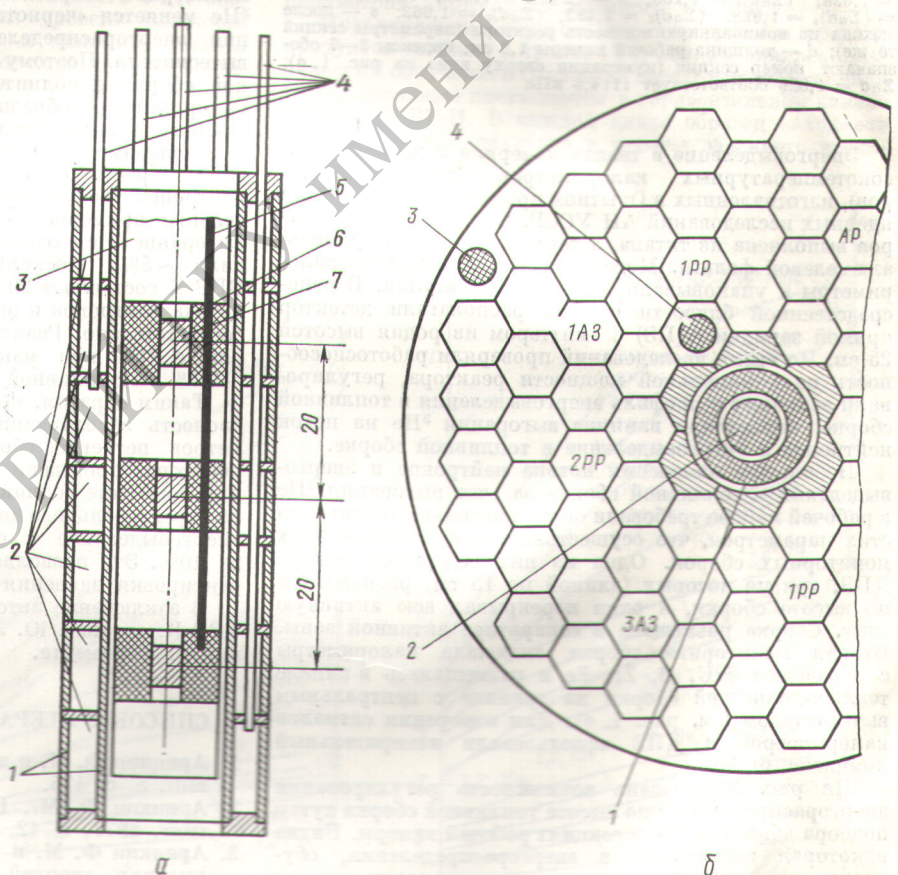
АРИНКИН Ф. М., БАТЫРБЕКОВ Г. А., ГИЗАТУЛИН Ш. Х., СОВОЛЕВ Ю. А.

Одной из актуальных задач постановки и проведения петлевых экспериментов на реакторе является возможность управления режимом испытаний, что предполагает, в частности, регулирование таких параметров, как распределение потока нейтронов и энерговыделения в топливной сборке. В работе [1] показана возможность подобного управления с помощью кольцевой камеры, наполняемой ^3He , в экспериментах на критическом стенде. Разделение камеры по высоте на ряд изолированных секций, давление ^3He в которых можно регулировать, позволило выравнивать распределение потока нейтронов и энерговыделения по высоте топливной сборки [2, 3].

Настоящая работа посвящена результатам испытаний такой системы регулирования на реакторе ВВР-К. Конструкция системы аналогична описанной в работе

[2] за исключением некоторых изменений в системе коммуникаций, позволивших смонтировать ее в над-реакторном пространстве. К мерам ядерной безопасности [2] добавлен дополнительный сигнал аварийной защиты от каждой секции рабочей камеры при снижении давления ^3He на 20%.

Физическая модель петлевого канала содержала топливную сборку высотой 45 см. Модели твэлов в виде таблеток из двуоксида урана 90%-ного обогащения по ^{235}U диаметром 0,9 см упакованы в вольфрамовую оболочку. Тепло отводится к внешнему корпусу канала через теплопередающие графитовые втулки (рис. 1, а). Петлевой канал загружали внутрь рабочей камеры, с внутренней и внешней стороны которой предусмотрены зазоры по 0,3 см для потока теплоносителя.



Р и с. 1. Конструкция системы (а) и геометрия эксперимента (б):

а — 1 — корпус рабочей камеры; 2 — секции с ^3He ; 3 — топливная сборка; 4 — трубки для подвода ^3He ; 5 — ДПЗ; 6 — графитовая втулка; 7 — калориметр с моделью твэла; б — 1 — рабочая камера; 2 — топливная сборка; 3 — мониторинговая сборка ДПЗ; 4 — калориметрическая мониторинговая сборка

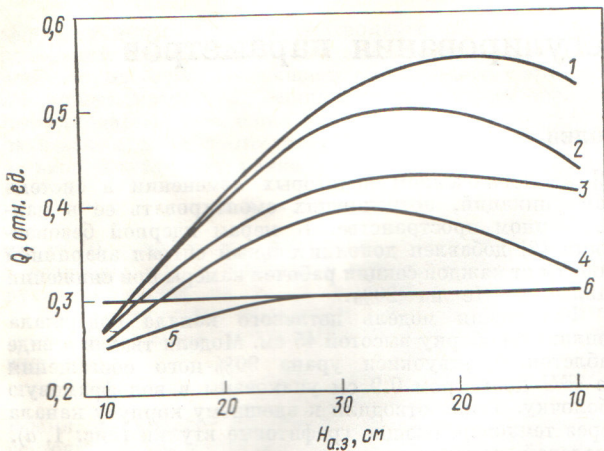


Рис. 2. Энергораспределение по высоте топливной сборки: 1 — $\Sigma ad = 0$ для всех секций; 2 — $(\Sigma ad)_6 = 1,163$; 3 — $(\Sigma ad)_6 = 1,163$; $(\Sigma ad)_4 = 1,662$; 4 — $(\Sigma ad)_4 = 1,662$; $(\Sigma ad)_6 = 1,828$; $(\Sigma ad)_6 = 1,163$; 5 — $(\Sigma ad)_6 = 1,662$; $(\Sigma ad)_4 = 1,828$; $(\Sigma ad)_6 = 2,493$; $(\Sigma ad)_7 = 1,662$; 6 — после выхода на номинальную мощность реактора (параметры секций те же); d — толщина рабочей камеры 1,2 см, индексы 3—7 обозначают номер секции (нумерация сверху вниз на рис. 1, а); $\Sigma ad = 1,828$ соответствует 1114,6 кПа

Энерговыведение в твэлах измеряли с помощью высокотемпературных калориметров (термодивергаторов), изготовленных в Опытном производстве Института ядерных исследований АН УССР. Оболочка калориметров выполнена из титана, а термоэлементы из хромель-алюмелевой фольги. Модели твэлов помещали в калориметры и упаковывали в графитовые втулки. В непосредственной близости от них располагали детектор прямой зарядки (ДПЗ) с эмиттером из родия высотой 25 см. Во время исследований проверяли работоспособность на номинальной мощности реактора, регулировали величину и профиль энерговыведения в топливной сборке, определяли влияние выгорания ^3He на поток нейтронов и энерговыведение в топливной сборке.

Небольшие изменения потока нейтронов и энерговыведения в топливной сборке за счет выгорания ^3He в рабочей камере требовали более тщательного контроля этих параметров, что осуществлялось с помощью двух мониторинговыхборок. Одна из них содержала четыре ДПЗ, три из которых (длиной по 15 см) располагали по высоте сборки, а один перекрывал всю активную зону. Сборка размещена в сепараторе активной зоны. Вторая мониторинговая сборка включала калориметры с образцами ^{235}U , В, Zr, Fe и размещалась в канале тепловыделяющей сборки на границе с центральным вытеснителем (см. рис. 1, б). Для измерения сигналов калориметров и ДПЗ использовали измерительный комплекс Ф-30к.

На рис. 2 показана возможность регулирования энергораспределения по высоте топливной сборки путем подбора давления ^3He в секциях рабочей камеры. Видна некоторая асимметрия в энергораспределении, обусловленная влиянием органов регулирования.

Использование графита в целях улучшения теплоотдачи несколько ухудшило регулируемую способность камер с ^3He (по сравнению с [2]) за счет дополнительного замедления нейтронов, сжатия их спектра и увеличения энерговыведения в топливной сборке. До вывода реактора на номинальную мощность было установлено энергораспределение, соответствующее кривой 5 (см. рис. 2) с учетом того, что при работе реактора на мощности 10 МВт и его отравлении продуктами деления в результате извлечения части органов регулирования произойдет увеличение энерговыведения в верхнем топливном элементе. Это должно привести к окончательному выравниванию энергораспределения по высоте топливной сборки, что подтвердилось впоследствии при работе реактора на мощности 10 МВт (кривая 6 на рис. 2).

Система регулирования работала при мощности реактора 10 МВт 4 сут, в течение этого времени периодически снимали показания калориметров и ДПЗ. Температура на внешней оболочке калориметров достигала 600—750 °С, при этом мощность модели твэлов достигала ~220 Вт. Температура ^3He в рабочей камере составляла ~83 °С. Показания калориметров и ДПЗ топливной сборки нормировались на сигнал ДПЗ мониторинговой сборки. Поскольку в процессе выгорания ^3He меняется «чернота» камеры, происходит деформация энергораспределения в активной зоне вблизи вытеснителя. Поэтому показания калориметров топливной сборки дополнительно нормировались на сигнал калориметра с образцом из ^{235}U , расположенного на границе с вытеснителем.

Эксперименты показали, что за 4 сут непрерывной работы реактора на номинальной мощности поток нейтронов увеличился примерно на 2,7%, а энерговыведение примерно на 1,6%, при этом максимальное выгорание ^3He в одной из секций рабочей камеры составило ~5%. Поскольку цикл непрерывной работы ВВР-К составляет 20 сут, то за этот период изменение потока нейтронов и энерговыведения составит 13 и 8% соответственно. Реактивность, вносимая рабочей камерой с ^3He при максимальном давлении, составила -2,4%, а топливной сборки +1,5%.

Таким образом, показана работоспособность и безопасность эксплуатации системы регулирования параметров петлевой сборки на номинальной мощности реактора, проведено регулирование энергораспределения по высоте топливной сборки, показано, что в течение трехнедельного цикла непрерывной работы реактора энерговыведение в сборке возрастает не более чем на 10%. Это позволяет проводить испытания без корректировки давления ^3He в камере в пределах цикла.

В заключение авторы благодарят персонал реактора ВВР-К, а также Ю. Л. Цоглина за помощь в проведении эксперимента.

Поступило в Редакцию 2.II.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринкин Ф. М. и др. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 5, с. 435.
2. Аринкин Ф. М., Батырбеков Г. А. «Атомная энергия», 1977, т. 42, вып. 5, с. 404.
3. Аринкин Ф. М. и др. Препринт 37-76 Ин-та физики высоких энергий АН КазССР. Алма-Ата, 1976.