

УДК 621.039-78

Влияние компоновочных решений активной зоны исследовательского реактора с натриевым теплоносителем на её нейтронно-физические характеристики

Прокопович А.А., студент

*кафедра «Ядерные реакторы и установки»,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Окунев В.С., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

bauman@bmstu.ru

Исследовательские реакторы (ИР) являются важнейшим элементом мировой и, в частности, российской ядерной программы. По данным МАГАТЭ [1] на сегодняшний день только в России действует 65 ИР и критических сборок различного типа и назначения (для сравнения, действующих энергетических блоков в РФ 33 на 10 площадках [2]). Стоит отметить, что первые построенные реакторы (реактор Энрико Ферми в США и Ф-1 в СССР) являлись исследовательскими, и именно с них началось атомное реакторостроение.

На ИР выполняется широкий спектр исследовательских и экспериментальных работ с использованием реакторного излучения:

- испытание новых видов топлива, конструкционных материалов;
- испытание тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ), поглощающих элементов (пэлов), тепловыделяющих сборок (ТВС) и других элементов активных зон (а.з.) проектируемых энергетических реакторов;
- испытание новых типов теплоносителей для реакторов следующего поколения;
- испытания новых типов оборудования систем нормальной эксплуатации и систем безопасности;
- эксперименты в области радиационной химии, физики твердого тела, биологии, медицины и др.;
- наработка радиоактивных изотопов.

Исследовательский реактор является генератором интенсивного потока нейтронов и γ -квантов, которые используются для облучения материалов и топлива. Уникальным в своем роде является ИР БОР-60. Это единственный работающий в РФ исследовательский реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

Величина плотности потока нейтронов в реакторе БОР-60 достигает максимального значения $3,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что является наилучшим показателем среди всех действующих ИР [3]. Картограмма активной зоны реактора БОР-60 представлена на рисунке 1.

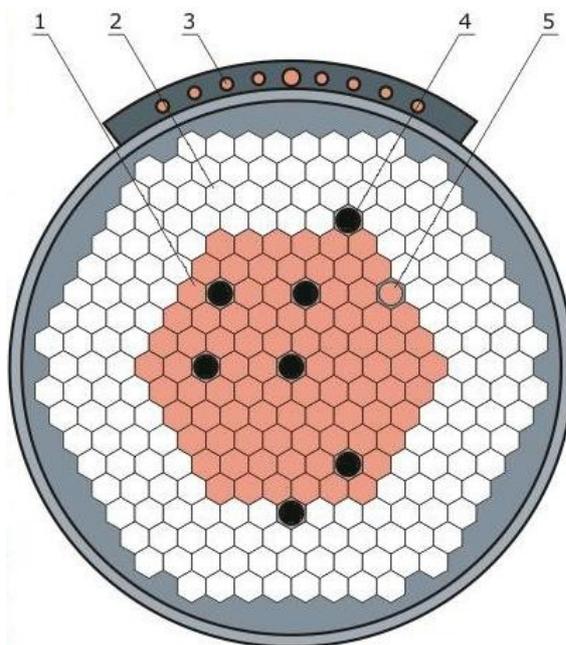


Рис.1. Картограмма активной зоны реактора БОР-60. 1 – тепловыделяющие сборки; 2– сборки бокового экрана; 3 – экспериментальные каналы; 4 – органы системы управления и защиты; 5 – инструментованная ячейка

Опыт эксплуатации реакторной установки БОР-60 и огромное количество проведенных исследований показали, что наиболее подходящими для размещения экспериментальных каналов (ЭК) являются ячейки, расположенные в активной и в первом ряду бокового экрана. Максимальная плотность потока нейтронов наблюдается в центре активной зоны. Ячейки, расположенные рядом с каналами органов системы управления и защиты (СУЗ) не пригодны для ЭК из-за неравномерности нейтронно-физических характеристик и нестабильности потока нейтронов. В виду того, что центральная ячейка в активной зоне реактора БОР-60 занята каналом органа СУЗ, все 7 центральных ячеек с максимальной плотностью потока нейтронов не использовались для экспериментальных исследований. Это является основным недостатком данной реакторной установки.

В силу того, что срок эксплуатации реактора БОР-60 заканчивается в 2015-2017 году (построен реактор в 1969 г.), встает задача создания принципиально новой исследовательской установки на быстрых нейтронах. И одним из первых этапов является определение компоновки активной зоны. На стадии проектирования особое внимание

необходимо уделить выбору варианта размещения органов СУЗ, ЭК и МС. Используя опыт эксплуатации ИР, можно сформулировать следующие требования:

- 1) центральную ячейку активной зоны использовать под ЭК;
- 2) стержни аварийной защиты (АЗ) и компенсации эффектов реактивности (КР) расположить в центральной части активной зоны. В режиме нормальной эксплуатации стержни АЗ и КР выведены из активной зоны и поэтому не оказывают влияния на нейтронно-физические характеристики;
- 3) стержни автоматического регулирования (АР) расположить на периферии активной зоны. Стержни АР в режиме нормальной эксплуатации постоянно перемещаются и, соответственно, оказывают существенное влияние на нейтронно-физические характеристики.

Предложенный способ размещения органов СУЗ позволит улучшить параметры реактора (увеличение плотности потока нейтронов и стабильность нейтронно-физических характеристик), а также позволит расширить экспериментальные возможности установки.

В виду вышесказанного были предложены несколько вариантов компоновки активной зоны проектируемого исследовательского реактора на быстрых нейтронах. Варианты компоновки представлены на рисунке 2.

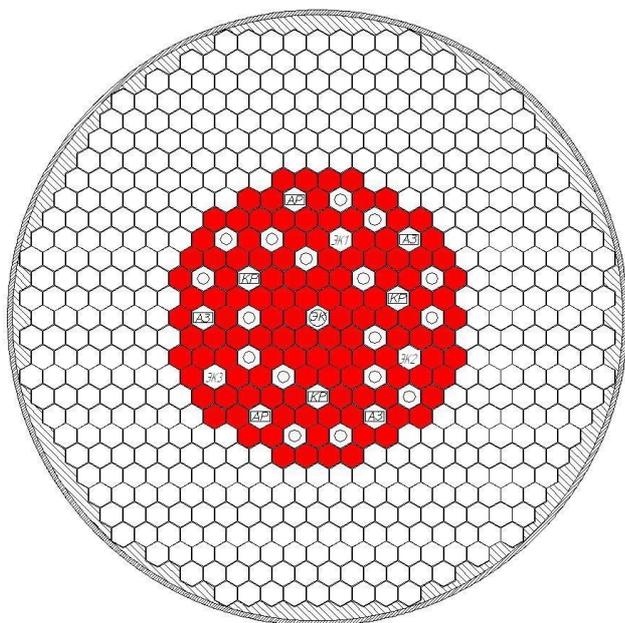


Рис. 2-а. 1-й вариант компоновки а.з.

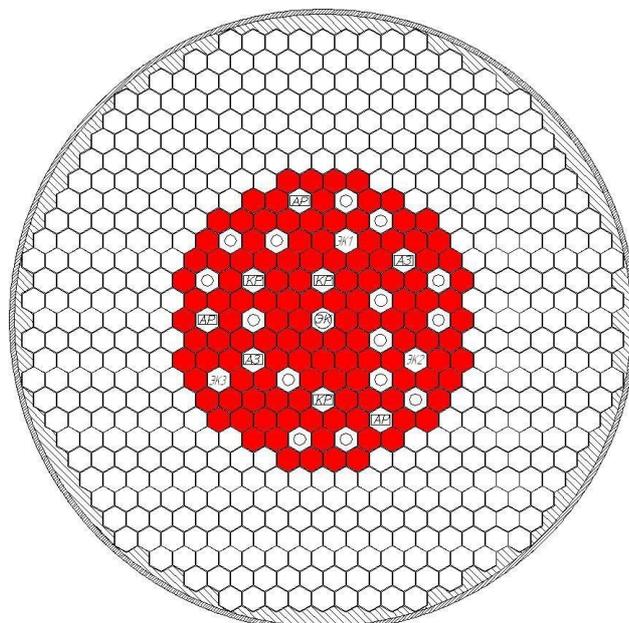


Рис. 2-б. 2-й вариант компоновки а.з.

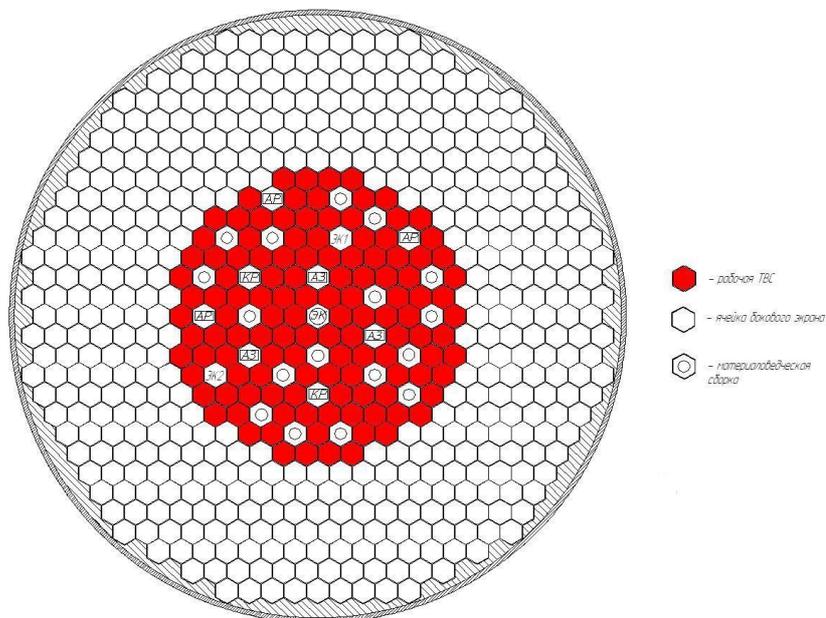


Рис. 2-в. 3-й вариант компоновки а.з.

В расчетной модели ТВС задана в виде шестигранника с размером под ключ 67 мм. Заполнена составом 43% (объемных) топлива, 34% натрия и 23% стали. Шаг треугольной решетки размещения ТВС 69 мм. Высота топливного столба 500 мм. Топливный состав задан в виде смеси диоксида урана (0,2% U-235 и 99,8% U-238) и диоксида низкофонового плутония (95% Pu-239 и 5% Pu-240). Нетопливные ячейки, находящиеся в активной зоне, в расчетной модели заполнялись на 50% натрием и на 50% сталью. Ячейки бокового экрана состоят из 80% (объемных) стали и 20% натрия.

Параметры проектируемой установки представлены в таблице 1

Таблица 1. Параметры установки

Параметр	Вариант компоновки		
	1	2	3
Тепловая мощность реактора, МВт	~150		
Тип топлива	Смешанное оксидное уран-плутониевое		
Число рабочих ТВС	122	124	123
Число рабочих органов СУЗ:	8	8	8
- АЗ	3	2	3
- АР	2	3	3
- КР	3	3	2
Число экспериментальных каналов	4	4	3
Число материаловедческих сборок	17	15	17

С помощью программы MCU-FREE с использованием данной расчетной модели были получены распределения удельного энерговыделения в ТВС для всех трех вариантов компоновки, а также эффективные коэффициенты размножения нейтронов. Для определения предпочтительного варианта компоновки активной зоны проведем сравнительный анализ полученных результатов, представленных в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета

Параметр	Вариант компоновки		
	1	2	3
Плотность потока нейтронов в центральном ЭК, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$4,86 \cdot 10^{15}$	$4,79 \cdot 10^{15}$	$4,62 \cdot 10^{15}$
Максимальное значение удельного энерговыделения, $\text{Вт}/\text{см}^3$	788,64	772,32	769,84
Эффективный коэффициент размножения нейтронов	1,02736	1,01985	1,01762
Плотность потока нейтронов в центральном слое ЭК1 (см. расположение на рисунке 2), $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$4,61 \cdot 10^{15}$	$4,28 \cdot 10^{15}$	$4,29 \cdot 10^{15}$
Плотность потока нейтронов в центральном слое ЭК2 (см. расположение на рисунке 2), $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$4,35 \cdot 10^{15}$	$4,35 \cdot 10^{15}$	$4,31 \cdot 10^{15}$
Плотность потока нейтронов в центральном слое ЭК3 (см. расположение на рисунке 2), $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$3,72 \cdot 10^{15}$	$4,31 \cdot 10^{15}$	-

Как видно из табл.2, наилучшие результаты были получены для 1-го варианта компоновки активной зоны. Плотность потока нейтронов в экспериментальных каналах для 1-го варианта компоновки имеет более широкий, чем для 2-го и 3-го вариантов компоновки, диапазон, что увеличивает область использования ИР. Кроме того, при первом варианте компоновки для исследований и экспериментов доступны 17 материаловедческих каналов и 4 ЭК.

Как показали расчеты, группа из трех стержней АЗ (вариант компоновки №1) обладает эффективностью примерно 3,2%; эффективность трех стержней группы КР составляет величину около 5,3%; эффективность двух стержней группа АР – около 0,7%. Таким образом, останов реактора и поддержание его в подкритическом состоянии может

быть обеспечено группами стержней АЗ и КР независимо друг от друга. Во втором варианте компоновки предложено использование двух органов АЗ вместо трех. В этом случае ввод стержней АЗ в активную зону не позволяет перевести реактор в подкритическое состояние, в связи с чем подобная компоновка не может быть реализована.

Проанализировав все полученные результаты, можно сделать вывод, что первый вариант компоновки является предпочтительным. При такой компоновке достигаются максимальные показатели по плотности потока нейтронов, обеспечивается стабильность нейтронно-физических характеристик и возможность проведения широкого спектра исследований в различных областях.

Список литературы

1. Реактор установки БОР-60: пособие – ФГУП ГНЦ РФ НИИАР (Отраслевой учебно-тренировочный центр), г. Димитровград, 2003 г. – эл. вид.
2. Жемков И.Ю. Оптимизация размещения органов СУЗ в исследовательском реакторе на быстрых нейтронах: Тез. докл. Семинар «Нейтроника XXI». Обнинск, 2010.
3. Бать Г.А., Коченов А.С., Кабанов Л.П. Исследовательские ядерные реакторы. М.: Атомиздат, 1972. 272 с.
4. Уолтер А., Рейнольдс А. Реакторы-размножители на быстрых нейтронах: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1986. 624 с.