

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО РЕАКТОРА ПРИЗ-М

GENERAL CHARACTERISTICS AND CONTROL AND PROTECTION SYSTEM OF THE UPGRADED REACTOR PRIZ-M

С. А. Андреев, С. Ю. Касьянов, Ю. А. Соколов, А. С. Жиряков, Б. Н. Лавренюк, В. В. Захаров
S. A. Andreev, S. Yu. Kasyanov, Yu. A. Sokolov, A. S. Zhyryakov, B. N. Lavrenyuk, V. V. Zaharov

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е. И. Забабахина»

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russian Research Institute of Technical Physics

В докладе представлены основные результаты работ по модернизации системы управления и защиты реактора ПРИЗ, завершенной в 2007 году, работ по авторскому надзору и сопровождению, проведенных в 2012–2015 гг., и замене комплекта деталей активной зоны, проведенной в 2014 году.

The report presents the main results by the modernization of the control and protection PRIZ reactor systems, completed in 2007, works on the field of supervision and support, conducted in 2012–2015, replacement of the active zone parts, conducted in 2014.

1. Конструкция реактора ПРИЗ

Реактор ПРИЗ (подвесной реактор для исследования защиты) разработан в РФЯЦ-ВНИИТФ в 1970 году. Конструктивной особенностью реактора является то, что все механизмы регулирования реактивности и детекторы излучения располагаются на опорной плите, расположенной над активной зоной. К этой плите прикреплена неподвижная часть отражателя. Подвижная часть отражателя вместе с собранными на ней деталями АЗ подвешена к якорю электромагнита с помощью стальных штоков, проходящих через отверстия в неподвижном отражателе и опорной плите. Электромагнитная подвеска нижней части АЗ обеспечивает быструю аварийную защиту реактора. При такой компоновке реактора вокруг нижней части АЗ нет конструктивных элементов и механизмов, которые могли бы рассеивать выходящее излучение. Это значительно улучшает условия проведения облучательных экспериментов.

По устройству активной зоны этот реактор относится к семейству реакторов ЭБР со сферической твердотельной активной зоной с отражателем. Топливные элементы реактора – это 6 полусферических оболочек из уран-молибденового сплава (3 % Мо масс.), герметизированные 50 мкм защитным покрытием.

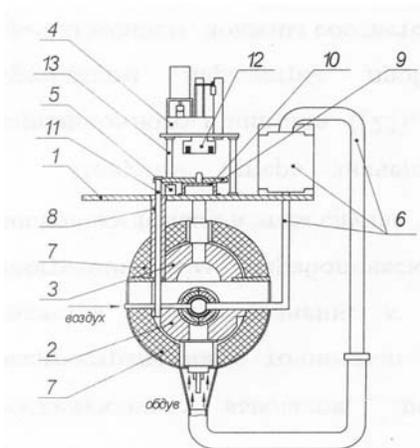


Рис. 1. Схема стенда реактора ПРИЗ-М: 1 – опорная плита реактора; 2 – нижний отражатель из меди; 3 – верхний отражатель из меди; 4 – механизм перемещения НБ; 5 – масляный демпфер; 6 – трубы и компрессор системы воздушного охлаждения; 7 – формирователь спектра нейтронов; 8 – стяжки (трубы) крепления верхнего отражателя; 9 – якорь механизма перемещения НБ; 10 – опора якоря; 11 – штанги крепления НБ; 12 – электромагнит механизма перемещения НБ; 13 – опоры механизма перемещения НБ

Опорная плита с подвешенным реактором устанавливается на дистанционно управляемую транспортную платформу, для возможности вывода реактора из зала биологической защиты на «улицу», что позволяет проводить эксперименты по облучению крупногабаритных объектов.

В конце 1970-х гг. этот реактор был передан в Центральный физико-технический институт Минобороны (ныне ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России), где эксплуатируется по сей день. Область применения реактора ПРИЗ – проведение испытаний объектов ВВТ и использование в качестве образцового источника гамма-нейтронного излучения.

2. Реактор ПРИЗ-М

В начале 2000-х годов назрела необходимость модернизации реактора в части замены системы управления и защиты и усовершенствования отдельных узлов и механизмов реактора. Модернизация реактора ПРИЗ выполнена в период с 2005 по 2007 годы. Первоначальный монтаж, настройку и отладку узлов и механизмов макета стенда реактора ПРИЗ и отработка элементов системы управления и защиты были выполнены на экспериментальной базе РФЯЦ-ВНИИТФ, затем все было перевезено и смонтировано на площадке ФГКУ «12 ЦНИИ».

В целях снижения «запаса» реактивности и, соответственно, последствий потенциальных аварий, было принято решение уменьшить число топливных элементов – в активной зоне две внутренние полусферы из делящегося материала были заменены на стальные.

В ходе выполнения работ по модернизации был разработан и изготовлен новый стенд реактора с учетом использования «старых» деталей АЗ и транспортной платформы: проведена замена никелевого отражателя на медный; улучшена система воздушного охлаждения активной зоны реактора (использован более мощный компрессор и изменение конфигурации элементов системы обдува); в качестве механических приводов использованы имеющие большую надежность и точность позиционирования шаговые двигатели; переделана кабельная лента; разработан и изготовлен технологический стол для оптимизации процессов сборки и монтажа активной зоны реактора; выпущен новый комплект конструкторской документации.



Рис. 2. Общий вид реактора ПРИЗ-М установленного на транспортную платформу

На опорной плите установлены все механизмы управления, детекторы регистрирующих каналов, компрессор системы охлаждения. Снизу к плите прикреплены полусферы медного отражателя АЗ реактора.

В качестве базовых решений модернизации СУЗ использовались модули программируемых логических контроллеров SiemensLogo, модули L-CardE-270. Были выполнены работы по полной замене пульта управления (рис. 3), чувствительные (счётные) каналы регистрации нейтронного потока; «грубые» каналы регистрации нейтронного потока; каналы аварийной защиты; каналы измерения температуры.

Для вывода информации о положении органов управления реактивностью реактора и о значениях нейтронного потока в режиме реального времени использовались компьютеры Advantech с панельными мониторами. Было разработано специализированное программное обеспечение для организации системы цифровой индикации и сигнализации, протоколирования измеряемых данных и процесса работы, расчета периода разгона, расчета аппроксимированного критического зазора.



Рис. 3. Вид пульта управления реактором ПРИЗ-М. На заднем плане приборная стойка

В 2007 году силами РФЯЦ-ВНИИТФ под руководством комиссии успешно проведен физический пуск реактора и с 2008 года начата эксплуатация реактора с новым наименованием ПРИЗ-М.

3 Мероприятия авторского надзора в отношении ИЯУ ПРИЗ-М

В 2012 году в ходе проведения авторского надзора комиссией РФЯЦ-ВНИИТФ выявлено значительное нарушение защитного покрытия топливных элементов, ввиду чего дальнейшая эксплуатация реактора ПРИЗ-М была приостановлена. В 2014 году в РФЯЦ-ВНИИТФ изготовлены новые топливные элементы в количестве 4 штук и переданы в ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России. На новые детали нанесено защитное покрытие толщиной 100 мкм. Также в 2014 году было принято решение осуществить замену комплекта деталей активной зоны реактора ПРИЗ-М без проведения физического пуска. Эта работа проведена совместно РФЯЦ-ВНИИТФ и 12 ЦНИИ. В результате уточнены основные характеристики реактора ПРИЗ-М в конфигурациях с полеформирующей системой и без нее. Кроме того, принят ряд усовершенствований, касающихся работы СУЗ (блок аварийных команд, чувствительные каналы контроля мощности), а также систем визуализации данных и интерфейса оператора. Реактор ПРИЗ-М введен в эксплуатацию с новым комплектом деталей активной зоны в 2015 году.

Основные технические характеристики модернизированного реактора ПРИЗ-М в сравнении с техническими характеристиками существовавшего реактора ПРИЗ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные технические характеристики модернизированного реактора ПРИЗ-М и существовавшего реактора ПРИЗ

Наименование характеристики (параметра)	Значения характеристик (параметров)	
	ПРИЗ	ПРИЗ-М
Номинальная мощность реактора, кВт	1,0	5,0
Выход нейтронов, 1/с	$(3-5) \times 10^{13}$	$2,0 \times 10^{14}$
Максимальная температура разогрева АЗ (наружная поверхность урановой полусферы Ø183 мм), о С	150	150
Максимальный запас реактивности, βэфф	3,2	0,9
Коэффициент умножения при зазоре 120 мм, без ПФС с ПФС	≈6,0	5,5
	≈6,5	6,0
Критический зазор (при извлеченной пробке МТР), мм без ПФС с ПФС	6,6	1,06*
	9,8	1,42**
Изменение реактивности НБ на 1мм хода вблизи НКС, βэфф /мм	0,33	0,315
Вклад ПФС в реактивность, βэфф	1,0	1,64
Вклад пробки МТР в реактивность, βэфф	0,17	0,65
Вклад пробки МДС в реактивность, βэфф	-	1,29
Вклад малой компенсирующей пробки (50 мм), βэфф		0,50
Вклад большой компенсирующей пробки (80 мм), βэфф		1,43
Температурный коэффициент реактивности, ρ/оС	-0,40	-0,55
Материал отражателя	Ni	Cu
Количество органов воздействия на реактивность	2	3
Наличие дублирующего аварийного сброса	отсутствует	имеется

* – с компенсирующей пробкой диаметром 80 мм

** – без компенсирующих пробок

Основные технические характеристики реактора ПРИЗ-М:

– управление реактором из пультовой – дистанционное;

– работа реактора разрешена при наличии источника нейтронов интенсивностью не менее 10^5 нейтр./с;

– скорость подъема НБ – 0,5 мм/с (быстрая);

– скорость подъема НБ – 0,05 мм/с (медленная);

– скорость быстрого спуска НБ – 1,67мм/с

– вес стенда – 700 кг;

– допустимый период разгона реактора не менее 20 с.

Список литературы

1 Леваков Б. Г., Лукин А. В., Магда Э. П., Погребов И. С., Снопков А. А, Терехин В. А. Импульсные ядерные реакторы РФЯЦ-ВНИИТФ. Снежинск: Издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 2002.