

Увеличение мощности реактора РГ-1М для геологических исследований до 100 кВт

ЩЕТИНИН А. М., НИКИТИН В. Н., НИКОЛАЕВ В. А., ПЕТРОВ А. П., МАРКОВИЧ С. М., САЧКОВ В. Ф., ШЕНЦЕВ В. Т.

УДК 621.039.524.44

Эксплуатация реактора РГ-1М для геологических исследований [1] на мощности 30 кВт в течение двух лет показала, что существующая система охлаждения теплоносителя имеет большой резерв и позволяет увеличить мощность до 100 кВт без особого изменения загрузки активной зоны.

Предварительные нейтронно-физические расчеты показали, что при достижении мощности 100 кВт все основные параметры активной зоны заметно не изменяются, поскольку температурные характеристики реактора остаются практически неизменными. Используемый принцип охлаждения активной зоны допускает повышение удельной энергонапряженности в 3 раза. В таком случае максимальное значение потока тепловых нейтронов в центре активной зоны должно возрасти до величины $2,7 \cdot 10^{12}$ нейтр/см²·сек.

Активная зона реактора охлаждается дистиллированной водой с расходом 11 м³/ч. Отвод тепла от дистиллята производится в теплообменнике охлаждающей технической водой, расход которой составляет 8—10 м³/ч. Теплообменник водо-водяного типа имеет две последовательно соединенные секции с поверхностью теплообмена 2,26 м² для каждой. Расчет температуры теплоносителя на входе в теплообменник при мощности 100 кВт для трех значений температуры технической воды, выполненный по методу [2], показал, что температура воды на выходе из теплообменника находится в допустимых пределах (табл. 1).

Если допустимая температура стенок твэлов равна 100° С, система теплообмена при температуре технической воды не выше 13° С обеспечивает работу реактора на мощности 100 кВт, а при температуре до 25° С — 80 кВт.

В соответствии с полученными расчетными данными в апреле 1972 г. был выполнен комплекс экспериментальных работ по увеличению мощности реактора РГ-1М до 100 кВт и исследованы его физические и теплофизические параметры в период пуска и опытной эксплуатации.

Измерение неравномерности распределения энерговыделения по радиусу активной зоны для двух состояний системы — при наличии воды в центральном экспериментальном канале (ВЭК-1) и без нее — показало, что различие вблизи центрального канала не превышает 10%. Причем заполнение ВЭК-1 водой увеличивает энерговыделение. В то же время не обнаружено неравномерности энерговыделения по периметру твэлов для описанных условий. Точность измерений не хуже 5%.

Для увеличения запаса реактивности проведена перегрузка активной зоны путем перестановки фото-нейтронного источника и топливной кассеты [1]. Регулируемый запас реактивности составил 0,68 β_{эф}. После перегрузки активная зона содержит 43 топливные кассеты, 40 графитовых вытеснителей и один бериллиевый блок фото-нейтронного источника.

В табл. 2 показаны значения потоков тепловых нейтронов и кадмиевого отношения по меди в экспериментальных каналах реактора на уровне центра активной зоны, приведенные к мощности 100 кВт.

Величина потока тепловых нейтронов в центральном канале ВЭК-1 определена измерением абсолютной активности золотых индикаторов методом β—γ-совпадений. В остальных каналах — методом активации медных индикаторов и сравнением их наведенной активности с активностью такого же индикатора, облученного в центральном канале. Ошибка измерений не превышала 8%.

Среднее значение температурного коэффициента реактивности в диапазоне от 18 до 45° С составляет $5 \cdot 10^{-3}$ β_{эф}/°С. Температурный коэффициент реактивности измеряли на мощности 100 кВт при отсутствии циркуляции технической воды в течение относительно короткого интервала времени (3 ч), поэтому влияние эффекта отравления и эффекта Доплера не учитывали. Интегральный температурный коэффициент реактивности равен $1,35 \cdot 10^{-2}$ β_{эф}.

Расчетные значения температур при мощности 100 кВт, °С

Таблица 1

Параметры	Температура технической воды на входе в теплообменник, °С		
	9	17	25
Техническая вода на выходе из теплообменника	18,6	26,6	34,6
Дистиллят на входе в теплообменник	36,2	43,4	51,3
Дистиллят на выходе из теплообменника	27,6	34,8	42,7
Стенки твэлов	100	105	112

Поток тепловых нейтронов и кадмиевое отношение (по меди) в экспериментальных каналах реактора РГ-1М при мощности 100 квт

Таблица 2

Экспериментальный канал	Поток нейтронов, $\Phi \times 10^{12}$, нейтр/сек.см ³	Кадмиевое отношение	Экспериментальный канал	Поток нейтронов, $\Phi \times 10^{12}$, нейтр/сек.см ²	Кадмиевое отношение
ВЭК-1	2,7	10,1	ВЭК-7	0,89	37,3
ВЭК-2	2,0	19,6	ВЭК-8	1,0	37,7
ВЭК-3	1,0	35,7	ВЭК-9	0,41	80,6
ВЭК-4	1,0	42,2	Канал	2,1	23,7
ВЭК-5	1,0	43,3	пневмопочты		
ВЭК-6	0,83	36,1			

Изучение процесса отравления на номинальной мощности 100 квт в режиме автоматического регулирования показало, что величина избыточной реактивности, принятая для эксплуатации реактора РГ-1М в соответствии с требованиями, предъявляемыми к исследовательским реакторам для обеспечения ядерной безопасности, и равная $0,68 \beta_{эф}$, полностью скомпенсирована отрицательным температурным эффектом, эффектом Доплера и эффектом отравления за 22 ч непрерывной

Теплофизические параметры реактора РГ-1М

Таблица 3

Параметры	Мощность, квт		
	57,5	77,0	100,0
Расход дистиллята, м ³ /ч	10,9	10,5	11,0
Температура дистиллята, °С			
над активной зоной	24	30	40
на входе в активную зону	21	24	32
на выходе из максимально энергонапряженной кассеты	29,6	34,8	42,8
Расход технической воды, м ³ /ч	7,7	8,0	8,1
Температура технической воды, °С			
на входе в теплообменник	10,0	7,5	13,0
на выходе из теплообменника	15,2	14,5	23,5

работы реактора. Анализ опытных данных позволяет заключить, что непрерывная работа реактора РГ-1М на мощности 100 квт при избытке реактивности $0,68 \beta_{эф}$ возможна в течение двух рабочих смен, что обеспечивает к моменту окончания работы избыток реактивности $0,16 \beta_{эф}$.

Теплофизические параметры исследовали на различных уровнях мощности реактора при установившемся тепловом режиме на каждом уровне (табл. 3).

Температуру стенок твэлов и дистиллята на выходе из наиболее энергонапряженной кассеты измеряли специальным термомощупом; остальные измерения выполнены с использованием штатных приборов реактора. Температура стенки максимально энергонапряженного твэла оказалась равной 100°C при мощности 100 квт, температуре технической воды 13°C , ее расходе и дистиллята не менее 8 и 11 м³/ч соответственно.

Все экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами расчета. Примененная система охлаждения теплоносителя позволила увеличить первоначальную мощность реактора РГ-1М от 5 [3] до 100 квт, а использование в модификации РГ-1М бескожуховых топливных кассет [4] и графитовых вытеснителей дает возможность провести перегрузку зоны и оборудовать шесть каналов пневмотранспортной системы подачи образцов.

Проверка радиационной обстановки в зале реактора и прилегающих к нему помещениях, а также измерение радиоактивности воздуха и надреакторном пространстве и на выходе в специальную вентиляцию показали, что уровень излучения и радиоактивности газов не превышают предельно допустимых значений, установленных санитарными нормами. Биологическая защита реактора РГ-1М при работе его на мощности 100 квт обеспечивает безопасную радиационную обстановку.

Достижение предусмотренной мощности реактора РГ-1М 100 квт позволяет заметно сократить время облучения исследуемых геологических и технологических материалов, повысить чувствительность определенных и производительность аналитических работ.

Поступило в Редакцию 11/XII 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В. И. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 4, с. 315.
2. Цыганков А. С. Расчеты теплообменных аппаратов. М., Атомиздат, 1956.
3. Булкин Ю. М. и др. «Атомная энергия», 1966, т. 21, вып. 4, с. 319.

Коррозия твэла ВВР-М в условиях пристеночного кипения

КИРСАНОВ Г. А., ЖОНОПЛЕВ К. А., ПИКУЛИК Р. Г.

УДК 621.039.54

Возможность увеличения мощности реактора ВВР-М путем повышения рабочей температуры твэлов до появления пристеночного кипения определяется многими факторами, в том числе коррозионной стойкостью материала оболочки (сплава САВ-1) в этих специфических условиях. Цель проведенного исследования заключалась не столько в детальном изучении процесса коррозии, сколько в определении той реальной опасно-

сти разрушения твэла, которая связана с появлением пристеночного кипения в активной зоне реактора ВВР-М.

Коррозионная стойкость сплава САВ-1 исследована на стенде, позволяющем на поверхности фольги из испытуемого материала воспроизводить теплофизические условия работы оболочки твэла. Фольгу толщиной 0,250 мм, нагреваемую постоянным электрическим током, изготавливали из листов сплава САВ-1 методом