УДК 539.107

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВР-СМ

С.А. Байтелесов
Ф.Р. Кунгуров
Г.Н. Турдиева
Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан,
ул. Хуросон 1, пос. Улугбек, г. Ташкент, 100214, Узбекистан
baytel@inp.uz
fkungurov@inp.uz
turdievagulbaxor5@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22913733

Аннотация

Проведены расчеты активной зоны реактора ВВР-СМ Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (ИЯФ АН РУ) с загрузкой из 20, 24 и 28 тепловыделяющих сборок (ТВС) из низкообогащенного урана (19,75%) типа ИРТ-4М.

Доказано, что активная зона из 28 ТВС наиболее безопасная загрузка для эксплуатации реактора, и при загрузке 28 ТВС максимальное выгорание урана-235 можно довести до 70%. Это дает возможность сэкономить ядерное топливо до 10% в год. Однако, при этом происходит потеря в потоке тепловых нейтронов по сравнению с загрузкой в активную зону 20 ТВС. При режиме экономии ядерного топлива можно эксплуатировать реактор с 28 ТВС в активной зоне, а уменьшение потока тепловых нейтронов компенсировать увеличением объема облучаемых образцов, либо другими путями.

В активной зоне используются два типа ТВС: восьми- и шести- трубные ТВС типа ИРТ-4М. В этих ТВС используются тепловыделяющие элементы (твэлы) в виде трубчатой коаксиальной квадратной секции с толщиной стенки 1,6 мм [1]. Материал оболочки твэла - сплав САВ-1, толщина – 0,45 мм (минимальная 0,3 мм). Внутри шести трубных ТВС устанавливаются либо каналы со стержнями СУЗ, либо экспериментальные каналы с внешним диаметром 26 мм и внутренним диаметром 24 мм.

Ниже приведены результаты расчетов различных вариантов активной зоны реактора.

Ключевые слова: ИРТ – 4М, ТВС, активная зона , ядерного топлива, исследовательский реактор ВВР-СМ.

Abstract

Calculations of the core of the WWR-SM reactor at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (INP AS RU) were performed for core

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

configurations containing 20, 24, and 28 low-enriched uranium (19.75%) fuel assemblies (FAs) of the IRT-4M type.

It was demonstrated that a core configuration containing 28 FAs is the safest option for reactor operation, and that with 28 FAs, the maximum burnup of uranium-235 can be increased to 70%. This makes it possible to reduce nuclear fuel consumption by up to 10% per year. However, this configuration results in a decrease in the thermal-neutron flux compared with a core loaded with 20 FAs. Therefore, under a nuclear-fuel-saving operating mode, the reactor can be operated with 28 FAs in the core, while the reduction in thermal-neutron flux can be compensated for by increasing the volume of irradiated samples or by other means.

Two types of FAs are used in the core: eight-tube and six-tube IRT-4M fuel assemblies. These assemblies employ fuel elements (fuel rods) in the form of a tubular coaxial square section with a wall thickness of 1.6 mm [1]. The fuel-element cladding is made of SAV-1 alloy and has a thickness of 0.45 mm (minimum thickness: 0.3 mm). Within the six-tube FAs, either control-rod channels containing control and safety system (CSS) rods or experimental channels with an outer diameter of 26 mm and an inner diameter of 24 mm are installed.

The results of calculations for various reactor-core configurations are presented below.

Keywords: IRT-4M, fuel assembly (FA), reactor core, nuclear fuel, WWR-SM research reactor.

Использованные методы расчетов и программы

Программы WIMS-ANL [2], Памир и УРАН-АМ [3] использовались для расчета двух групповых ядерных сечений, которые были использованы для расчета выгорания в программе ИРТ-2D [4]. Для определения параметров ТВС цикл за циклом использовалась программа ИРТ-2D. Результаты анализа топливного состава ТВС, использовались в детальной модели, которая используется в программе MCNP4C [5]. Эта модель MCNP использовалась для выполнения всех равновесных теплофизических и нейтронно-физических анализов, с помощью которой были рассчитаны детальные распределения мощности и кинетические параметры, требуемые для равновесного теплового гидравлического анализа безопасности. Тепло-гидравлический анализ был выполнен с использованием кода PLTEMP [6].

Конфигурации активных зон реактора ВВР-СМ с 20, 24 и 28 ТВС представлены на рис. 1 – 3 соответственно. Результаты расчетов вычислений активной зоны с 20 ТВС по программе MCNP с введением положительной реактивности приведены в работах [7-8].

Результаты расчётов мощностей суммировались, а распределение мощности высчитывалось с использованием программы MCNP. Этой программой вертикальное осевое распределение мощности было разделено на 15 равных участков и произведено вычисление. Максимальные значения мощности в топливных элементах приведены ниже.

Для активной зоны с 20 ТВС: Пик мощности во внешней трубе (твэла) ТВС в ячейке активной зоны 3-4, с максимальной мощностью по оси равняется 2,101E+09 Вт/м^3. В табл. 1. приведено распределение мощности по вертикальной оси самого горячего твэла в ТВС.

Табл. 1. Распределение плотности энерговыделения в самом горячем твэле в зоне из ИРТ-4М (ячейка 3-4).

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

	Вертикальная ось, м	Энерговыделение, Вт/м^3
верх	0,6	
	0,58	8,064E+08
	0,54	9,479E+08
	0,50	1,177E+09
	0,46	1,405E+09
	0,42	1,615E+09
	0,38	1,790E+09
	0,34	1,939E+09
	0,30	2,042E+09
	0,26	2,093E+09
пик	0,22	**2,101E+09**
	0,18	2,043E+09
	0,14	1,919E+09
	0,10	1,718E+09
	0,06	1,480E+09
	0,02	1,355E+09
низ	0.00	

Номинальная мощность реактора ВВР-СМ для активной зоны с ТВС типа ИРТ-4М - 10 МВт. Установившийся расход воды в первом контуре - 1250 м^3/ч.

Все вычисления для активной зоны были выполнены, начинаясь с мощности 11 МВт, температура теплоносителя на входе в активную зону - 45 °С, а давление на входе – 137,22 кПа, которое соответствует статическому давлению водного столба от поверхности активной зоны до точки на высоте 4,0 м.

Расчеты различных вариантов конфигурации активной зоны реактора.

Ниже приведены результаты расчетов, с использованием вышеуказанных программ, различных вариантов активной зоны реактора.

В первом варианте расчетов в активную зону реактора загружены 20 ТВС типа ИРТ-4М с 36 вертикальными каналами, при этом в активную зону реактора загружены 31 квадратных, 8 угловых и 4 сегментных бериллиевых отражателя, из них 5 квадратных новых отражателя загружены 2017 году.

При таком варианте компоновки активной зоны запас реактивности =3,21 %. Этого недостаточно для работы реактора на номинальной мощности, потому что для компенсации «отравления» ксеноном-135 необходимо иметь запас реактивности около 3,2 %. В таком варианте весь запас реактивности тратится на компенсацию «отравления» ксеноном -135.

При перепаде давления ΔWP=3,7 и температуре активной зоны Т=45 °С допустимая мощность реактора Р=10,6 МВт.

Средняя снимаемая мощность от каждой ТВС равна 500 кВт, максимальная неравномерность по ТВС - 1,8.

На рис. 1 приведена активная зона с 20 шести трубными ТВС типа ИРТ-4М и 36 вертикальными каналами для экспериментов.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

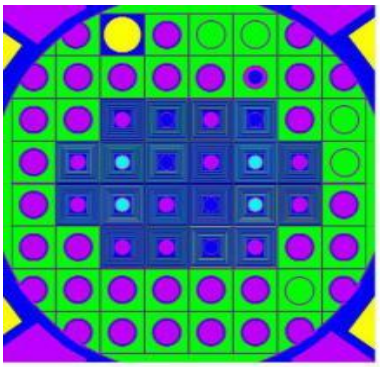


Рис. 1. Зона из 20 ТВС типа ИРТ-4М с 36 вертикальными экспериментальными каналами.

В втором варианте расчетов в активную зону реактора загружены 24 ТВС типа ИРТ-4М с 32 вертикальными каналами, при этом в активную зону реактора загружены 27 квадратных, 8 угловых и 4 сегментных бериллиевых отражателя, из них 5 квадратных новых отражателей загружены 2017 году.

При таком варианте запас реактивности =3,42 %. Этот запас реактивности позволяет работать реактору на мощности 10 МВт в течении 3,6 дней.

При перепаде давления ΔWP=3,8 и температуре активной зоны T=45 °C допустимая мощность реактора P=10,7 МВт.

Средняя снимаемая мощность от каждой ТВС равна 417 кВт, максимальная неравномерность по ТВС - 1,7.

Выводы

Проведенный анализ показал, что при увеличении числа ТВС в активной зоне с 20 до 28, максимальная температура наружной стенки твэла снижается на 12,7%. Это улучшает тепловой режим эксплуатации реактора. При этом также снижается средняя мощность энерговыделения от одной ТВС с 500 кВт до 357 кВт, а неравномерность энерговыделения улучшается на 27%. Если учитывать, что максимальное выгорание урана-235 в ТВС составляет 60% при загрузке 24 ТВС, то при загрузке 28 ТВС максимальное выгорание урана-235 можно довести до 70%. Это дает возможность экономии ядерного топлива до 10% в год.

Все вышесказанное доказывает, что активная зона из 28 ТВС является наиболее безопасной конфигурацией для эксплуатации реактора. Однако, при этом теряется поток тепловых нейтронов в сравнении 20 ТВС. При режиме экономии ядерного топлива можно эксплуатировать реактор с 28 ТВС в активной зоне, если уменьшение тепловых потоков нейтронов компенсируется увеличением объема облучаемых образцов либо другими путями. Так как негерметичность ТВС растет с ростом выгорания урана-235 в ТВС, при эксплуатации реактора важно, чтобы все ТВС в активной зоне реактора были герметичны.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Список литературы

1. Сборки тепловыделяющие ИРТ-4М. Каталожное описание 0019.20.00.000 ДКО, НЗХК, Новосибирск, 2004.
2. J.R. Deen, W.L.Woodruff, Инструкция пользователя WIMS-ANL вер. 6, ANL/TD/TM99-07, Аргоннская Национальная Лаборатория, Аргонн, Иллинойс, февраль 2004.
3. Н.В. Архангельский, В.А. Насонов, УРАН-АМ – программа нейтронного расчета цилиндрической ячейки реактора с учетом изменения изотопного состава в процессе выгорания. Препринт ИАЭ – 3861/5, М. 1983.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.