

# ВЛИЯНИЕ БЕРИЛЛИЕВОГО ОТРАЖАТЕЛЯ, ПОМЕЩЕННОГО В АКТИВНУЮ ЗОНУ РЕАКТОРА ВВР-ц, НА ЕЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**О.Ю. Кочнов\*, В.В. Колесов\*\***

*\*Обнинский филиал ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Обнинск*

*\*\* Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*



Приводятся результаты нейтронно-физических расчетов модифицированной активной зоны реактора ВВР-ц, на основании которых обнаружено значительное увеличение запаса реактивности при введении в активную зону блоков бериллиевого отражателя.

**Ключевые слова:** активная зона реактора ВВР-ц, плотность нейтронного потока, бериллиевые блоки в отражателе.

**Key words:** the reactor core of the VVR-c, beryllium reflector blocks, neutron flux.

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение экономичности активной зоны реактора ВВР-ц является важнейшей задачей, решение которой позволит экономить топливо и, в конечном счете, улучшить финансовые показатели работы реакторной установки. Для реактора ВВР-К в Казахстане уже проводились расчетные исследования по использованию бериллиевых блоков в качестве дополнительного отражателя на периферии активной зоны [1]. Нами выполнен ряд расчетных исследований по использованию Be для улучшения показателей работы активной зоны реактора ВВР-ц.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Расчеты проводились с максимальной детализацией при описании активной зоны реактора, тепловая мощность принималась равной 10 МВт. Рассматривалось несколько модификаций активной зоны:

*Вариант А.* Бериллиевые блоки располагались слева от экспериментального канала 1–1, справа от ТВС 1–4, слева от канала 6–1 (РР-1), справа от канала 6 – 9 (РР-1), слева от ТВС 11–1 и справа от ТВС 11-5 . Бериллиевые блоки имеют гексагональную форму по размеру ТВС. Внешняя часть блока обрезается стенкой корпуса активной зоны.

*Вариант Б.* ТВС 5–1, 5–10, 7–1 и 7–10 также заменяются на бериллиевые блоки (рис. 1).

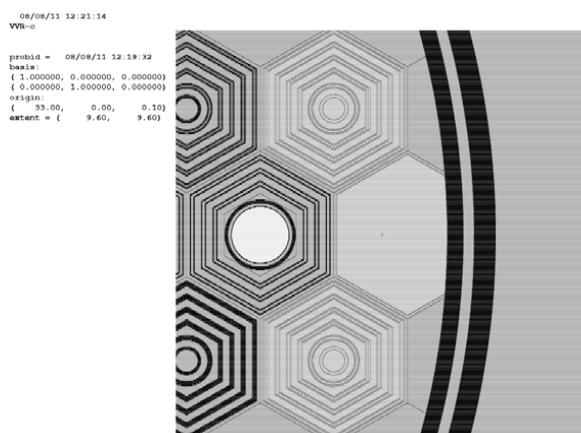


Рис. 1. Часть активной зоны реактора для варианта *Б* с ТВС 5–10 и 7–10, замененными на бериллиевые блоки (верхний и нижний правые гексагональные блоки) и одним из бериллиевых блоков на краю активной зоны (правый усеченный гексагональный блок)

Сравнение производится со стандартной активной зоной (*вариант С*).

В таблице 1 приведены значения эффективного коэффициента размножения для всех трех вариантов активной зоны при одинаковом расположении стержней регулирования.

Из проведенных расчетов видно, что даже при замене четырех периферийных ТВС на бериллиевые блоки наблюдается увеличение запаса реактивности почти на 0.3%.

Таблица 1

**Значения эффективного коэффициента размножения**

Вариант	<i>С</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>
$K_{эфф}$	1.00569+/-0.00034	1.01531+/-0.00034	1.00855+/-0.00034

В таблице 2 приведены рассчитанные значения плотностей потоков нейтронов в различных экспериментальных каналах для вариантов зоны *Б* и *С*. Там же приведены имеющиеся экспериментальные результаты для стандартной активной зоны.

Интересно проанализировать как изменились значения плотностей потоков нейтронов для варианта *Б* по сравнению со стандартной зоной *С* (табл. 3).

Таблица 2

**Сравнение плотностей потоков нейтронов в различных экспериментальных каналах для вариантов *Б* и *С***

Канал	Вариант <i>С</i>		Вариант <i>Б</i>		Эксперимент (стандартная зона)
	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ	
8–9	$7.03 \cdot 10^{13}$	$4.12 \cdot 10^{13}$	$6.95 \cdot 10^{13}$	$4.23 \cdot 10^{13}$	$4.4 \cdot 10^{13}$
4–1	$7.42 \cdot 10^{13}$	$4.32 \cdot 10^{13}$	$7.48 \cdot 10^{13}$	$4.49 \cdot 10^{13}$	$7.3 \cdot 10^{13}$
10–7	$6.47 \cdot 10^{13}$	$3.97 \cdot 10^{13}$	$7.01 \cdot 10^{13}$	$4.27 \cdot 10^{13}$	$6.4 \cdot 10^{13}$
1–1	$6.62 \cdot 10^{13}$	$4.07 \cdot 10^{13}$	$7.28 \cdot 10^{13}$	$4.41 \cdot 10^{13}$	$6.8 \cdot 10^{13}$

Таблица 3

**Изменение (в %) плотностей потоков нейтронов для варианта Б по сравнению со стандартной зоной С**

Канал	(Вариант Б – Вариант С)/ Вариант С (%)	
	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ
8–9	–1.1	2.7
4–1	0.8	3.9
10–7	8.3	7.6
1–1	10	8.4

Из таблицы видно, что изменения плотностей потоков нейтронов для каналов 8–9 и 4–1 близки (в пределах 2% для полной плотности потока нейтронов и в пределах 4% для плотности потока нейтронов до 4 эВ), но существенно отличаются от соответствующих значений для пары каналов 10–7 и 1–1.

Такое отличие в поведении плотности потока нейтронов в различных каналах можно попытаться объяснить двумя факторами. Во-первых, для пары каналов 8–9 и 4–1 мы удалили стоявшие рядом ТВС с топливом (ТВС 5 – 1 для канала 4–1 и ТВС 7–10 для канала 8–9), заменив их бериллиевым отражателем. Во-вторых, стержни РР-1 были опущены до середины активной зоны, и влияние бериллиевого замедлителя, возможно, оказывалось разным для каналов 10–7, 1–1 и 4–1, 8–9. Для проверки первого фактора мы провели расчеты для зоны в варианте А, в котором, в отличие от варианта Б, ТВС 5–1, 5–10, 7–1 и 7–10 не заменялись на бериллиевые блоки. Результаты расчетов приведены в табл. 4 и 5. Из таблиц видно, что плотности потоков нейтронов в варианте А активной зоны для каналов 4–1 и 8–9 выросли незначительно, а в тепловой области даже снизились.

Результаты соответствующих расчетов для варианта А активной зоны с бериллиевым отражателем при поднятых стержнях РР-1 (вариант А') приведены

Таблица 4

**Сравнение плотностей потоков нейтронов в различных экспериментальных каналах для вариантов А (без замены четырех ТВС на бериллиевые блоки) и С**

Канал	Вариант А		Вариант С	
	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ
8–9	$7.02 \cdot 10^{13}$	$4.13 \cdot 10^{13}$	$7.03 \cdot 10^{13}$	$4.12 \cdot 10^{13}$
4–1	$7.56 \cdot 10^{13}$	$4.41 \cdot 10^{13}$	$7.42 \cdot 10^{13}$	$4.32 \cdot 10^{13}$

Таблица 5

**Изменение (в %) плотностей потоков нейтронов для вариантов А и Б по сравнению со стандартной зоной С**

Канал	(Вариант А – Вариант С)/ Вариант С (%)		(Вариант Б – Вариант С)/ Вариант С (%)	
	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ
8–9	–0.1	0.2	–1.1	2.7
4–1	1.9	2.1	0.8	3.9

Таблица 6

**Сравнение плотностей потоков нейтронов в различных экспериментальных каналах для вариантов А' (с поднятыми стержнями РР-1) и С'**

Канал	Вариант А'		Вариант С'	
	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ
8–9	$7.30 \cdot 10^{13}$	$4.29 \cdot 10^{13}$	$7.36 \cdot 10^{13}$	$4.32 \cdot 10^{13}$
4–1	$7.69 \cdot 10^{13}$	$4.53 \cdot 10^{13}$	$7.61 \cdot 10^{13}$	$4.42 \cdot 10^{13}$

Таблица 7

**Изменение (в %) плотностей потоков нейтронов для вариантов А' (с поднятыми стержнями РР-1) по сравнению со стандартной зоной С'**

Канал	(Вариант А' – Вариант С')/ Вариант С' (%)		(Вариант А – Вариант С)/ Вариант С (%)	
	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ	Полная плотность потока нейтронов	Плотность потока нейтронов до 0.4 эВ
8–9	–0.8	–0.7	–0.1	0.2
4–1	1.1	2.5	1.9	2.1

в табл. 6 и 7. Полученные для каналов 4–1 и 8–9 результаты сравнивались с аналогичными значениями плотностей потоков нейтронов для стандартной зоны с поднятыми РР-1 (вариант С').

Как видно из табл. 4–7, эффект увеличения плотности потока нейтронов в каналах 4–1 и 8–9 при наличии рядом бериллиевого блока практически не наблюдается, в то время, как в каналах 1–1 и 10–7 он значителен.

Результаты проведенных расчетов позволяют сделать вывод, что бериллиевый отражатель, помещенный рядом с экспериментальными каналами 1–1 и 10–7, позволяет заметно увеличить плотность потока нейтронов в канале (включая его тепловую составляющую).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенных расчетных исследований обнаружено значительное увеличение запаса реактивности при введении в активную зону реактора ВВР-ц блоков бериллиевого отражателя. Этот эффект позволит экономить топливо и, в конечном счете, улучшить финансовые показатели работы реакторной установки. Кроме того, обнаружено, что плотность потока нейтронов (включая ее тепловую составляющую) в экспериментальных каналах для такой модифицированной зоны возрастает и в ряде случаев достигает 10%, что может быть использовано для увеличения наработки радионуклидов.

**Литература**

1. Аринкин Ф.М., Бейсебаев А.О., Гизатулин Ш.Х. и др. О возможности использования бериллиевого отражателя в существующей активной зоне реактора ВВР-К//Вестник НЯЦ РК. – 2008. – Вып. 4(36). – С. 106–112.

Поступила в редакцию 9.11.2011

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.586

*Assessment of Consequences Hypothetical Nuclear Accident of the Reactor MARS Installation* \Yu.A. Kazanskiy, E.S. Matusevich; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 6 pages, 3 tables 3 illustrations. – References, 3 titles.

The assessment of radiating consequences of hypothetical nuclear accident of the medical reactor MARS is given. It is shown that there is no significant radioactive irradiation of the population and environmental pollution, and the personnel is by own efforts capable to eliminate its consequences.

### УДК 621.039.586

*The mathematical Model of Prompt-Critical Disassembly Excursion of an LMFBR* \M.V. Kascheev, I.A. Kuznetsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 11 pages, 4 illustrations. – References, 12 titles.

The mathematical model of processes of prompt-critical disassembly excursion of an LMFBR is developed. The model is realized in two-dimensional program ANPEX which allows to calculate accident development at occurrence of secondary criticality in the fused core. The description of results of testing of the program and results of calculation of stage of instant criticality by means of code ANPEX for BN-600 is given.

### УДК 621.039.51

*The Beryllium Reflector Effects on Neutron-Physical Characteristics of the VVR-c Reactor Core* \O.Yu. Kochnov, V.V. Kolesov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 4 pages, 7 tables. – References, 1 title.

The paper presents the results of neutron-physical calculations of the modified reactor core of the VVR-c. As a result of computational research we showed a significant increasing of the reactivity margin when beryllium reflector blocks are introduced into the reactor core of the VVR-c.

### УДК 621.039.534

*Possibility of the Usage of the Lead Enriched with the Isotope Lead-208 from Thorium Ores and Minerals for Nuclear Energy Needs* \G.L. Khorasanov, A.I. Blokhin, A.A. Valter; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 13 pages, 3 tables, 8 illustrations. – References, 26 titles.

In the paper the usage of radiogenic lead recovered from thorium ores and minerals is investigated as a possible liquid heavy metal coolant for Fast Reactors (FRs) and Accelerator Driven Systems (ADSs). This radiogenic lead is strongly enriched with Pb-208 isotope, which is characterized with very low neutron capture cross sections at low and intermediate energies (5 eV-50 keV). The FR or ADS coolant based on Pb-208 is very attractive material from the view point of neutronics that brings the possibility of minimization of fuel loading, enhancing fuel breeding and transmutation of long-lived fission products, geological and economical aspects of acquisition of large quantities of radiogenic lead are discussed. Nowadays in the Russian Federation and the Ukraine loparit ores and monazite minerals are reprocessed for production of rare metal raw. Thorium and lead are not required now and they are deposited in sludge. The conclusion is made that to obtain the minimum amount of required in future radiogenic lead (65 t/year) for small sized FRs and ADSs the very large quantities of ores or minerals must be reprocessed and acquisition of radiogenic Pb-208 can be economically acceptable as a co-product of rear metal raw.

### УДК 621.039.58

*Optimal Management by NPP Equipment Lifetime. Calculation Procedures* \O.M. Gulina, N.L. Salnikov, V.P. Politukov, V.S. Arefiev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 5 illustrations. – References, 7 titles.

Linear stochastic filter algorithm is developed for steam generator heat-exchanged tubes assembly. Due to large dimension of mathematical model there are some criteria are formulated and Excel is choose as media for filter algorithm realization. The model researching is performed: analysis of model to different parameters, including efficiency of preventive measures performed.