

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ БН-600 НА ВЕЛИЧИНУ НАТРИЕВОГО ПУСТОТНОГО ЭФФЕКТА РЕАКТИВНОСТИ

Е.В. Балахнин, А.М. Тучков, И.А. Чернов

Белоярская АЭС, г. Заречный



В статье дан анализ влияния изменения состава активной зоны реактора БН-600 на величину натриевого пустотного эффекта реактивности (НПЭР). Приведены методика подготовки расчетных моделей и результаты расчетов величины НПЭР для разных составов активной зоны.

Натриевый пустотный эффект реактивности – это изменение реактивности критического реактора при изменении плотности теплоносителя из-за изменения температуры реактора или вследствие аварии, связанной с прекращением циркуляции теплоносителя в первом контуре.

В НПЭР можно выделить три компоненты [1].

1. Компонента утечки. Для БН-600 удаление натрия из активной зоны увеличивает утечку нейтронов, следовательно, в активной зоне остается меньшее число нейтронов и деление на уране несколько снижается, реактивность уменьшается. Эта компонента всегда отрицательна.

2. Захватная компонента. При нормальной работе реактора происходит радиационный захват нейтронов и вывод их из полезного деления на топливе, а при аварии с утечкой натрия, наоборот, происходит увеличение деления ядер. Данная составляющая НПЭР всегда положительна.

3. Спектральная компонента (изменение спектра нейтронов). При удалении натрия спектр нейтронов в реакторе ужесточается (нет замедления в теплоносителе), в результате чего происходит уменьшение величины отношения сечений деления и захвата в ^{239}Pu (α^9) и увеличение доли делений четно-четных нуклидов тяжелых ядер. В зависимости от состава зоны данная компонента может иметь любой знак.

Спектральная и захватная компоненты обычно имеют максимум в центре активной зоны, где поток и ценность нейтронов максимальны (иногда из-за наличия зоны воспроизводства максимум может сместиться в другое место). Компонента же утечки имеет максимальное значение на границе активной зоны около зоны воспроизводства, где наибольшее значение имеют градиенты потока и ценности нейтронов.

Во многих работах [1–4] пространственное распределение значений НПЭР для реакторов типа БН дается на основе проектного состава активной зоны. Реальные условия эксплуатации реактора БН-600 могут отличаться от проектных. Например, в реакторе БН-600 эксплуатировались экспериментальные облучательные устройства

© **Е.В. Балахнин, А.М. Тучков, И.А. Чернов, 2005**

(ЭОУ) и опытные компенсирующие стержни (ОКС) для наработки кобальта-60 и экспериментальные сборки для наработки аргона-37 (ЭСА). В данной работе определяется влияние установки этих облучательныхборок на величину НПЭР реактора БН-600.

Расчеты проводились с использованием программы SYNTES в R-Z геометрии. Активная зона реактора БН-600 была разбита на необходимое количество радиальных слоев (8-12), в соответствии с изменением изотопного составаборок (табл. 1, 2). Количество вертикальных слоев определялось максимальным числом звеньев в рассматриваемых типахборок.

Расчет размеров зон проводился по методике эквивалентных площадей и на основе сохранения физического радиуса расположения стержней СУЗ и экспериментальных облучательныхборок в боковом экране.

Для каждого исследуемого типаборок (ЭОУ, ОКС и ЭСА) составлялась расчетная модель, где учитывались изменения концентраций отдельных изотопов в местах установки этихборок:

- исследование НПЭР в реакторе БН-600 с установленными ЭОУ – ЕОУ;

Таблица 1
Картограмма модели реактора БН-600 в R-Z геометрии

N1	ΔZ , см	ЗМО		ЗСО		ЗБО1	ЗБО2	ВБЗВ	НБЗВ	ПИ
		1	7	12	17	20	23	27	32	
15	24,8	57	58	59	60	61	62	63	64	
5	5,5	2	8	13	17	20	23	27	32	
		49	50	51	52	53	54	55	56	
3	3,0	3	9	14	18	21	24	28	31	
		41	42	43	44	45	46	47	48	
4	5,0	3	9	14	18	21	24	28	31	
		33	34	35	36	37	38	39	40	
32	35,0	3	9	14	18	21	24	28	31	
		25	26	27	28	29	30	31	32	
40	61,1	4	10	15	18	21	24	28	31	
		17	18	19	20	21	22	23	24	
10	25,4	5	11	16	19	22	25	29	30	
		9	10	11	12	13	14	15	16	
10	10	6	11	16	19	22	26	26	30	
		1	2	3	4	5	6	7	8	
ΔR , см		31.62	32.26	19.62	10.04	10.04	19.22	19.22	19.2	
N2		30	30	18	9	9	18	18	18	

ΔR – размер радиальной зоны, ΔZ – размер аксиальной зоны, N1 – число расчетных точек на аксиальную зону, N2 – число расчетных точек на радиальную зону.

Таблица 2

Состав радиальных слоев

Имя зоны	Основные составы
ЗМО1	ТВС ЗМО, компенсирующие и регулирующие стержни СУЗ (КС и РС)
ЗМО2	
ЗСО	ТВС ЗСО и стержни КС
ЗБО1	ТВС ЗБО
ЗБО2	
ВБЗВ	ТВС ВБЗВ
НБЗВ	ТВС НБЗВ
ВРХ	отработавшие ТВС ЗМО, ЗСО, и ЗБО

ЗМО – зона малого обогащения; ЗСО – зона среднего обогащения; ЗБО – зона большого обогащения; ВБЗВ – внутренняя боковая зона воспроизводства; НБЗВ – наружная боковая зона воспроизводства; ВРХ – внутриреакторное хранилище.

- исследование НПЭР в реакторе БН-600 с установленными ОКС – **ОКС**, для трех вариантов размещения ОКС;
- исследование НПЭР в реакторе БН-600 с установленными ЭСА – **ЕСА**, для двух вариантов размещения ЭСА.

Рассматриваемые расчетные модели реактора БН-600 сведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные модели реактора БН-600

Описание модели	Условное название
6 ЭОУ во втором ряду ВБЗВ – реальная модель	EOU
ОКС в ячейке КС-Ц – реальная модель	1OKS
ОКС в ячейках КС-Ц, КС1+6	7OKS
ОКС в ячейках КС-Ц, КС1+18	19OKS
19 ЭСА в первом ряду ВБЗВ – реальная модель	19ESA
ЭСА занимают весь первый ряд ВБЗВ	78ESA
стандартная активная зона реактора	ZONA

Расчет НПЭР выполняется по следующему алгоритму:

- 1) на первом этапе проводится расчет реактора в исходном (невозмущенном) состоянии;
- 2) далее из исходных концентраций элементов топливных составов исключается натрия (моделирование слива теплоносителя);
- 3) проводится расчет реактора в возмущенном состоянии (без натрия);
- 4) рассчитывается эффект реактивности при удалении натрия из соответствующей зоны.
- 5) для расчета величины пустотного эффекта реактивности используется формула, получаемая из рассмотрения НПЭР с точки зрения теории возмущения [6]:

$$\Delta\rho = \left(\frac{1}{k_{\text{исх}}} - \frac{1}{k_{\text{возм}}} \right) \cdot k_{\text{исх}}.$$

Результаты расчетов НПЭР приведены в табл. 4. Суммарный натриевый пустотный эффект реактивности в целом по реактору по проектным данным составляет – 0,44β.

Таблица 4

Величина НПЭР (ед. β) для разных составов активной зоны БН-600

ЗонаЯР	Расчетная модель						
	ZONA	19ESA	78ESA	1OKS	7OKS	19OKS	EOU
ЗМО	0,1201	0,1206	0,1407	0,3245	0,3067	0,3444	0,1053
ЗСО	–0,2032	–0,2034	–0,1835	–0,2111	–0,2054	–0,1784	–0,2155
ЗМО+ЗСО	–0,0552	–0,0545	–0,0141	0,1471	0,1261	0,1817	–0,0837
ЗБО	–0,7173	–0,7205	–0,7260	–0,7466	–0,7219	–0,7427	–0,7436
ЗМО+ЗСО+ЗБО	–0,8046	–0,8089	–0,7722	–0,6139	–0,6131	–0,5830	–0,8643
ВБЗВ	–0,1842	–0,1990	–0,3033	–0,1931	–0,1867	–0,1849	–0,1958
ВРХ	–0,0080	–0,0090	–0,0141	–0,0084	–0,0103	–0,0080	–0,0057
Весь реактор	–1,0271	–1,0506	–1,1346	–0,8414	–0,8330	–0,7993	–1,1062

На основе выполненных расчетов можно сделать следующие выводы.

1. Во всех рассмотренных расчетных моделях величина НПЭР положительна только при удалении натрия из ЗМО, в остальных зонах и в целом по реактору – отрицательна.

2. Установка 6-ти ЭОУ во второй ряд ВБЗВ увеличивает отрицательную величину НПЭР, что повышает безопасность реакторной установки при запроектной аварии с потерей теплоносителя.

3. Установка ОКС на место штатных КС приводит к увеличению положительной составляющей величины НПЭР, что снижает безопасность реактора при запроектной аварии.

4. Установка 19 ЭСА в первый ряд ВБЗВ не влияет на величину НПЭР, а замена всех ТВС первого ряда (78 шт.) на ЭСА увеличивает отрицательную величину НПЭР.

5. Результаты расчетов показывают возможность использования разработанной методики определения НПЭР по программе SYNTES для оперативного определения НПЭР при изменении состава активной зоны реактора БН-600.

Литература

1. Уолтер А., Рейнольдс А. Реакторы-размножители на быстрых нейтронах. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Бартоломей Г.Г., Бать Г.А., Бейбаков В.Д. и др. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Хаммел Г., Окрент Д. Коэффициенты реактивности в больших энергетических реакторах на быстрых нейтронах. – М.: Атомиздат, 1975.
5. Реактор БН-600 и его СУЗ: Техническое описание. – БАЭС, 1988.
6. Тестовая модель реактора БН-600: Отчет о НИР, №03-3802/97. – ВНИИАЭС, 1997.
7. Селезнев Е.Ф. Опыт формирования топливных загрузок активной зоны реактора БН-600// Теплотехника. – 1998. – № 5.

Поступила в редакцию 14.02.2005

УДК 621.039.526

Evaluation of the Radiation Risks Related to the Beloyarsk NPP BN600 Power Unit Operation on General Public | I.I. Koltik, N.N. Oshkanov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 3 tables, 1 illustration. – References, 9 titles.

The basic criterion used to evaluate the radiological danger related to an NPP operation is general public exposure to radiation. The article presents the results of the analysis of the annual doses taken by general public for the period of the BN600 unit operation. The data on the individual and collective doses received by the critical groups of general public due to the atmospheric and liquid discharges from the BN600 power unit are given. The data on the standardized collective doses for other reactor types are presented. The results of the calculation of the individual and collective risks on general public show that the risks for the fast reactors are lower by about two orders than the risk for the graphite-moderated water-cooled reactors and PWR's and beyond an absolutely acceptable risk of $1 \cdot 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$.

УДК 621.039.526

Justification of the Tritium Radiation Safety of the Beloyarsk NPP BN600 Power Unit Personnel | N.N. Oshkanov, M.V. Bakanov, E.M. Rafikov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 5 pages, 5 tables. – References, 6 titles.

On the basis of the conducted measurements of the volume tritium concentration in Beloyarsk NPP BN600 power unit room air the personnel tritium radiation safety has been justified. The method of the personnel dose calculation is presented.

УДК 621.039.526

Assessment of the Partial Errors of the Beloyarsk NPP BN600 Reactor Relative Power Measurements | M.V. Bakanov, V.A. Zhyoltyshev, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov, A.L. Kochetkov, Yu.S. Khomyakov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 9 pages, 3 tables, 3 illustrations. – References, 3 titles.

In this article the composite and partial errors of the Beloyarsk NPP BN600 reactor relative power measurements are considered and justified.

УДК 621.039.526

Assessment of the Minimum Possible Worth of the BN600 Reactor Control Rods | M.V. Bakanov, V.A. Zhyoltyshev, A.A. Lyzhin, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 7 pages, 2 illustrations. – References, 6 titles.

In this article the estimates of the minimum possible worth of the BN600 reactor control rods are reported and the criteria of the ultimate condition of the control rods as well as the indications of the achievement of the ultimate condition in terms of physical worth are considered and justified.

УДК 621.059.526

Computational Support to the BN600 Reactor Operation | V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov, Kh.F. Gizzatuln; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 6 pages, 2 tables. – References, 4 titles.

The article presents the main features of the core modifications implemented during the BN600 reactor operation. The neutron physics calculations of the BN600 reactor using the software packages named Uran and Hephaestus are analyzed. The effect of the BN600 reactor calculation method using the Hephaestus software package on the results of the calculation of the fuel characteristics has been evaluated.

УДК 621.039.526

The Influence of Change of the BN-600 Core Composition on Value of Sodium Void Reactivity Effect | E.V. Balahnin, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 4 tables. – References, 7 titles.

The influence of change of the BN-600 core composition on value of Sodium Void Reactivity Effect (SVRE) is presented in this article. The procedure of the design models preparation and calculation results of the SVRE for different of the BN-600 core composition's are presented.

УДК 621.039.526

Research into BN600 Reactor Irradiated Fuel Decay Heat Released in the Irradiated Fuel Cooling Pond | A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum, V.P. Zabegaev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 8 pages, 1 table, 5 illustrations.