

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУСТОТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОСТИ ДЛЯ РЕАКТОРА ВВР-ц

О.Ю. Кочнов, Н.И. Рыбкин

Филиал ФГУП Научно-исследовательский институт им. Л.Я. Карпова, г. Обнинск



В статье представлен анализ влияния воздушной полости, размещенной в активной зоне ВВР-ц, на реактивность реактора. Получены экспериментальные данные величины пустотного коэффициента в зависимости от положения воздушной полости в активной зоне.

На реакторе ВВР-ц проведено исследование влияния воздушной полости, размещенной в активной зоне, на реактивность реактора. Получены экспериментальные данные величины пустотного коэффициента реактивности в зависимости от положения воздушной полости в активной зоне.

На реакторе ВВР-ц (г. Обнинск) впервые за время эксплуатации (с 1964 г.) проведен ряд экспериментов по определению величины пустотного коэффициента реактивности. Под пустотным коэффициентом реактивности понимается отношение реактивности, внесенной воздушной полостью, к объему воздушной полости в активной зоне реактора.

Исследовательский ядерный реактор ВВР-ц представляет собой гетерогенный водо-водяной реактор бассейнового типа. По конструктивному исполнению активной зоны и экспериментальных устройств реактор специализирован для проведения широкого круга работ в области радиационной химии, структурных и материаловедческих исследований, активационного анализа, нейтронного легирования полупроводников и др. Реактор оснащен горизонтальными и вертикальными каналами различных диаметров, расположенных как в активной зоне, так и в водяном отражателе. При размещении экспериментальных каналов внутри активной зоны используются ячейки для тепловыделяющих сборок (ТВС). При облучении в таких каналах образцов и изделий, загруженных в пустотелые контейнеры, в результате вытеснения воды наблюдается искажение нейтронного поля, которое влияет на реактивность реактора. Для количественной оценки значения пустотного коэффициента реактивности была выполнена серия экспериментов по исследованию влияния размещения воздушной полости на запас реактивности реактора при перемещении ее вдоль радиуса активной зоны от центра к периферии. Воздушная полость моделировалась с использованием штатного вытеснителя ВВР-ц типа «В» (рис. 1), который последовательно загружался в экспериментальные ячейки 6–4, 7–4, 8–3, 9–2 и 10–1 активной зоны, расположенные вдоль радиуса от центра к периферии цилиндрической активной зоны реактора (рис. 2).

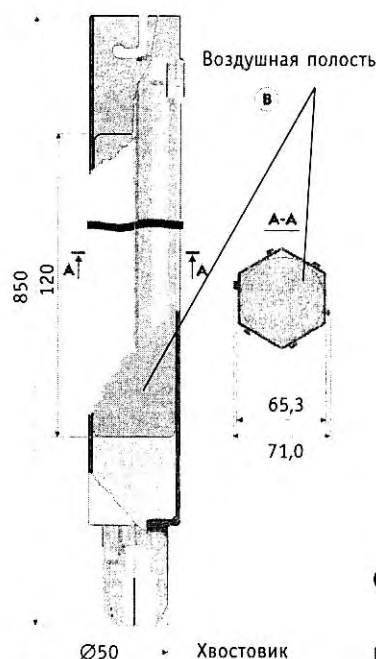


Рис.1. Вытеснитель с воздушной полостью

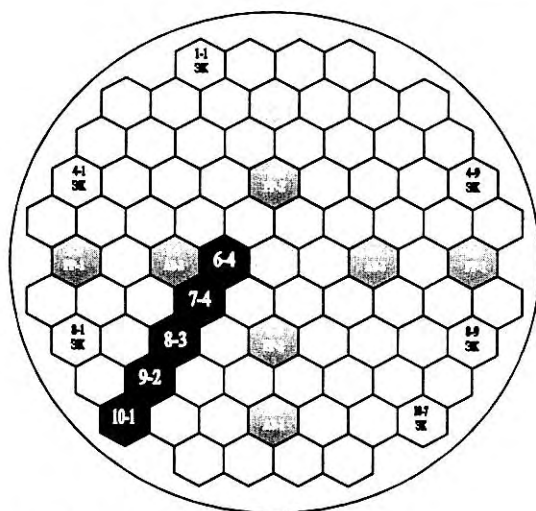


Рис. 2. Активная зона ВВР-ц

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Проследить влияние воздушной полости на реактивность реактора можно следующим образом. Поскольку прямое измерение реактивности невозможно¹, «косвенное» влияние на реактивность реактора можно оценить по влиянию на запас реактивности ВВР-ц. Запас реактивности реактора определяется по положению компенсирующих стержней, находящихся в активной зоне реактора. Он равен сумме весов компенсирующих стержней, погруженных в активную зону реактора при постоянном уровне мощности реактора, поэтому разница запасов реактивности (т.е. искомая реактивность) равна разности положений весов компенсирующих стержней². Эксперимент проводился в «холодном» состоянии (уровень мощности реактора не превышал минимально контролируемый уровень мощности МКУМ). Условия во время эксперимента (температура топлива, температура замедлителя, давление в активной зоне, величина воздушной полости и т.д.) оставались постоянными на всех этапах. Изменением запаса реактивности в процессе эксперимента из-за выгорания топлива и отравления изотопом ^{135}Xe можно пренебречь.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрим один из пяти этапов эксперимента. Поскольку вся последовательность действий одинакова, покажем на примере ячейки 6–4 активной зоны:

- 1) мощность реактора поднимается до величины МКУМ³, после этого измеряются положения компенсирующих стержней (вычисляется ρ_0);
- 2) мощность реактора снижается до 0 Вт (все стержни погружены в активную зону реактора);
- 3) извлекается ТВС из ячейки 6–4 активной зоны;

¹ Реактиметр не входит в комплект штатной аппаратуры ВВР-ц.

² Величину реактивности, вносимую участком стержня, определяют по интегральным градуировочным характеристикам компенсирующих стержней [1].

³ МКУМ для ВВР-ц составляет 11 Вт, при которой разогревом замедлителя в процессе эксперимента можно пренебречь.

4) мощность реактора поднимается до величины МКУМ, а затем измеряются положения компенсирующих стержней (вычисляется ρ_1);

5) мощность реактора снижается до 0 Вт (все стержни погружены в активную зону реактора);

6) в ячейку 6–4 устанавливается вытеснитель с воздушной полостью;

7) мощность реактора поднимается до величины МКУМ, а затем измеряются положения компенсирующих стержней в активной зоне (вычисляется ρ_2).

Температура воды в активной зоне во всех экспериментах оставалась постоянной и составляла 21°C. Величину пустотного коэффициента реактивности для экспериментальной ячейки определяли по разности измеренных значений запасов реактивности без вытеснителя и после его установки. Пустотный коэффициент реактивности для ячейки 6–4 равен:

$$\alpha_v = \frac{(\rho_0 - \rho_1) - (\rho_0 - \rho_2)}{V_{\text{полости}}} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{V_{\text{полости}}}, \quad (1)$$

где ρ_2 – запас реактивности реактора с воздушной полостью, ρ_1 – запас реактивности реактора без воздушной полости, $V_{\text{полости}}$ – объем воздушной полости (см³). В данном эксперименте $V_{\text{полости}} = 350$ см³.

Результаты измерений представлены на рис. 3, где условно полагают, что ячейка 6–4 расположена на первом радиусе активной зоны⁴, ячейка 7–4 расположена на 2-ом радиусе активной зоны и т.д. [4].

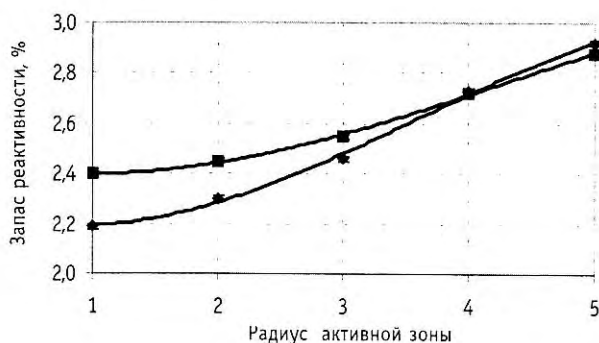


Рис. 3. Поведение запаса реактивности с воздушной полостью и без нее в ячейках активной зоны ВВР-ц: ■ – с воздушной полостью; ▲ – без полости

Из данных, представленных на рис. 3, видно, что запас реактивности возрастает по мере удаления ячейки от центра активной зоны к периферии (кривая 1), т.е. чем дальше расстояние ячейки от центра активной зоны, тем меньше влияние отдельной ТВС на общий запас реактивности ($\rho_0 = 3.21\%$). Запас реактивности возрастает также при удалении от центра активной зоны ячейки с воздушной полостью (кривая 2). При этом кривая (2) лежит выше кривой (1) для большей части активной зоны, т.е. наличие воздушной полости в ячейке активной зоны увеличивает запас реактивности. Из данных рис. 3 видно также, что пустотный коэффициент реактивности положителен на трех пятых радиуса активной зоны, т.е. при наличии в этой области свободных экспериментальных ячеек установка в них вытеснителя воды позволяет исключить бесполезное поглощение нейтронов ($\sigma_a = 0.664$ барн [2]).

Распределение величины пустотного коэффициента реактивности (α_v , [%/см³]) по радиусу активной зоны, из которого видно, что влияние воздушной полости на реак-

⁴ Строго говоря, расстояние между радиусами 1-м, 2-м и т.д. не является const. Величина радиуса, к которому относятся ячейки, является средней величиной для групп ячеек активной зоны (кроме 1-го радиуса).



Рис. 4. Распределение пустотного коэффициента по радиусу активной зоны ВВР-ц

тивность реактора уменьшается при удалении от центра активной зоны, при его максимальном значении $\alpha_v = (0,62 \pm 0,03) \cdot 10^{-3} \frac{\%}{\text{см}^3}$ для центра активной зоны представлено на рис. 4. Малая величина погрешности определяется довольно точным ($\pm 1 \text{ мм}$) измерением положения поглощающего стержня в активной зоне, что составляет менее 0,2% от длины стержня. Точность поддержания минимально контролируемого уровня мощности составляет $\pm 1\%$.

Вблизи границы активной зоны величина пустотного коэффициента реактивности близка к нулю (ячейка 9–2) и становится отрицательной на границе (ячейка 10–1) вследствие увеличения поверхности утечки нейтронов и отсутствия отражателя в воздушной полости. При определении величины a_2 в других ячейках (6–4, 7–4, 8–3), поверхность утечки оставалась постоянной, поэтому изменение пустотного коэффициента реактивности по радиусам ячеек активной зоны похоже на распределение плотности потока тепловых нейтронов по радиусу цилиндрической активной зоны реактора [3].

Таким образом, на основании экспериментальных исследований показано, что наличие воздушной полости в активной зоне оказывает заметное влияние на величину $K_{\text{эфф}}$ и, как следствие, на запас реактивности реактора, характеризуемое пустотным коэффициентом реактивности, величина которого зависит от положения воздушной полости в активной зоне. Пустотный коэффициент положителен внутри активной зоны и отрицателен на ее границе.

Измеренные значения величины пустотного коэффициента реактивности и его распределение по радиусу активной зоны дают возможность учитывать влияние на запас реактивности реактора загружаемых в нейтронное поле пустотелых контейнеров с облучаемыми изделиями, а также прогнозировать такое влияние при «подкипании» блок-контейнеров при недостаточном теплосъеме в «глухих» экспериментальных каналах и т.д.

Литература

1. Градуировочные характеристики стержней ВВР-ц: Эксплуатационная документация ВВР-ц, 2005.
2. Гордеев И.В., Кардашев Д.А., Мальшев А.В. Ядерно-физические константы. – М.: Госатомиздат, 1963.
3. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Описание реактора ВВР-ц: Техническая документация ВВР-ц, 1964.

Поступила в редакцию 16.01.2006

The construction of the acoustic devices, computer programs, laboratory and testing unit experiments are described.

УДК 621.039.58

Neutron Frecasting to Provide for Seismic Safety of NPP \ Yu.A. Rogozhin, I.P. Shestopalov; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 6 pages, 4 illustrations. – References, 8 titles.

As it is known, various natural factors, in particular earthquakes, can render influence on NPP work. The data on seismic energy, allocated from the earthquake sources on all globe for the period with 1680 on 2004 in comparison to cycles of solar activity, are analyzed. The 11-year's cycles of seismic activity on the Earth are revealed. The cyclic changes of seismic activity with duration in three solar cycles and century cycles are marked out also. A correlation between solar and seismic activity mainly negative, but the correlation between them can be positive under influence of powerful solar proton events. The strongest earthquakes occur in the beginning of the century cycle. In the ninetieth years of the last century there has come a new century cycle, in which beginning, during several tens years, the strong seismic activity will be marked. It is shown, that the seismic activity is accompanied by burst of neutrons, that directly can influence on NPP work. A new approach to forecasting of earthquakes develops by means of neutron monitoring, that at the end promises to raise seismic safety of NPP.

УДК 623.454.862: 628.4.047

Multi-Criteria Analysis for Evaluating the Radiological and Ecological Safety Measures in Radioactive Waste Management \ T.G. Sazykina, I.I. Kryshev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 7 pages, 2 illustrations, 3 tables. – References, 6 titles.

A methodological approach is presented for multi-criteria evaluating the effectiveness of radiological and ecological safety measures in radioactive waste management. The approach is based on multi-criterial analysis with consideration of radiological, ecological, social, economical consequences of various safety measures. The practical application of the multi-criteria approach is demonstrated by the example of decision-making on the most effective actions for rehabilitation a water body contaminated with radionuclides.

УДК 621.039.512

Temperature Effects Influence on Secondary Energy Distributions of Scattered Neutrons in the Resonance Region \ V.V. Kolesov, V.F. Ukraintsev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 5 illustrations. – References, 5 titles.

It is customary to neglect the effect of thermal motion (Doppler effect) and resonance behavior of the elastic scattering on the energy distribution of scattered neutrons in the resonance region. As has been shown early, instead of usual step-function for the energy distribution of scattered neutrons in the resonance region it needs to use more exact expression.

At this work we have researched the nuclei thermal motion and resonance behavior of the neutron elastic scattering influence on the energy distribution of scattered neutrons in the resonance region for a number of important nuclei, as ^{238}U , ^{240}Pu , ^{235}U , ^{155}Gd and ^{167}Er .

УДК 621.039.516.2

The Assessment of Voce Coefficient for WWR-c Reactor \ O.Y. Kochnov, N.I. Ribkin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 4 illustrations. – References, titles.

The air volume influence in WWR-c reactor core on the total reactivity was analyzed in this article. The experimental dates of voce coefficient depending on the air volume position inside reactor core was done.