

циента поглощения совпадает с интенсивностью возникновения фотон-ной лавины.

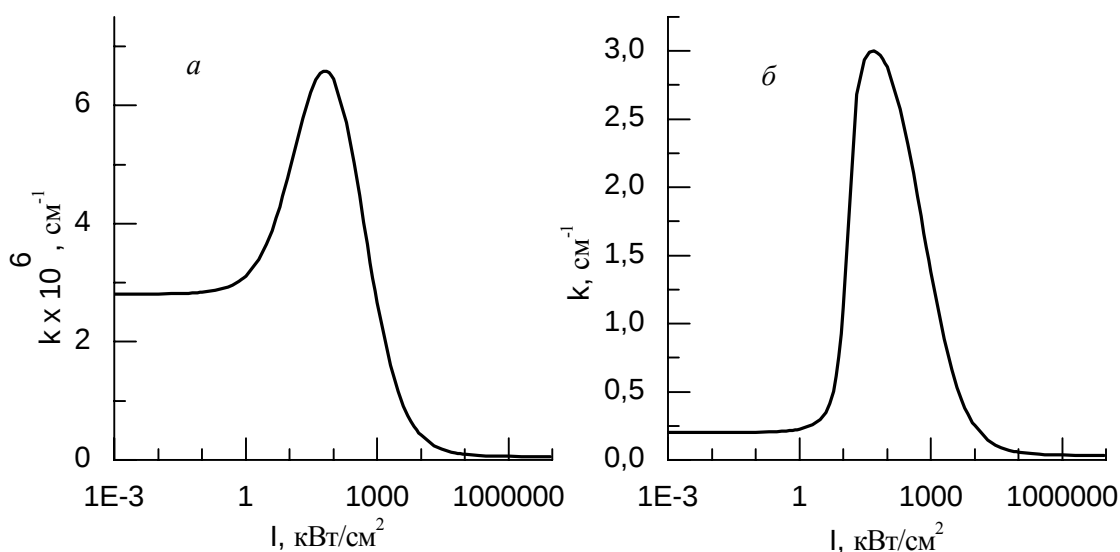


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения от интенсивности возбуждающего излучения:
а – низкая концентрация, б – высокая концентрация

Литература

1. Auzel F. Upconversion and Anti-Stokes Processes with f and d ions in solids // Chem. Rev. – 2004. – V 104, No 1. – P. 139 – 173.
2. Cascade – avalanche up – conversion in Tm^{3+} : YLF crystals / E. Yu. Perlin, A. M. Tkachuk, M. –F. Joubert, R. Moncorge // Optics and spectroscopy. – 2001. – V.90, No 5. – P. 691 – 700.
3. Luminescence in YVO_4 and $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ Crystals Excited by CW 1064-nm Radiation / I. A. Khodasevich, A. S. Grabtchikov, A. A. Kornienko, E. B. Dunina // Optics and spectroscopy. – 2015. – V.119, No 5. – P. 759 – 765.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРАН-ВОДНОЙ КРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ МЕТОДОМ ОБРАЩЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ КИНЕТИКИ

А. Е. Осадчев

Одним из основных нейтронно-физических параметров, характеризующих работу ядерного реактора, является реактивность. Измерение реактивности с помощью цифровых и аналоговых реактиметров, основанных на обратном решении уравнений кинетики реактора в точечной модели, получило довольно широкое распространение [1–4]. Однако при всех достоинствах данный метод имеет существенный недостаток:

результаты измерения значительной отрицательной реактивности, с одной стороны, зависят от взаимного расположения детектора и органа системы управления и защиты (ОР СУЗ) и, с другой, от времени после окончания перемещения и скорости перемещения органов СУЗ. В целом эти эффекты, называемые «пространственными эффектами», обусловлены несохранением во времени пространственно-энергетического распределения нейтронов в реакторе при возмущении его структуры, и они особенно значительны для больших реакторов с уплощенными активными зонами [5–8]. Точечная же модель кинетики основана на предположении неизменности указанного распределения нейтронов до, во время и после возмущения реактора. Тем не менее, метод обращенного решения уравнений кинетики широко используется в экспериментах на ядерных реакторах различного назначения.

Для безопасного управления реактором необходимо с достаточной точностью определить эффективности рабочих органов системы управления и защиты, а для этого необходимо учесть влияние пространственных эффектов.

В статье описана методика проведения эксперимента по определению влияния пространственных эффектов на результаты измерения эффективности органов регулирования малогабаритной уран-водной критической сборки методом обращенного решения уравнений кинетики, а также полученные экспериментальные данные.

Эксперименты проводились на критическом стенде «Гиацинт» Государственного научного учреждения «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси [9–11].

Уран-водная критическая сборка представляет собой однородную гексагональную решётку твэлов с шагом 32 мм, содержащих топливную композицию на основе уранциркониевого карбонитрида UZrCN с 19,75 % обогащением по урану-235 в стальной оболочке диаметром 12 мм и толщиной стенки 0,6 мм с водяным замедлителем и отражателем. Количество твэлов в активной зоне составляет 67 штук.

Критсборка имеет шесть РО СУЗ: два РО аварийной защиты (А31, А32), два РО компенсирующих (КО1, КО2) и два РО ручного регулирования (РР1, РР2). РО СУЗ, расположенные в активной зоне, содержат составные стержни, образованные жестко соединенными между собой через переходник твэлом и пэлом. Реактивность критической сборки уменьшается за счет выведения (вниз) из активной зоны твэлов и введения на их место пэлов.

РО СУЗ, расположенные в боковом отражателе, представляют собой кластеры из двух составных стержней, представляющих собой жестко соединенные между собой через переходник наконечник из оргстекла и пэл. Реактивность критической сборки уменьшается в этом случае за счет выведения (вниз) из бокового отражателя наконечников из оргстекла и введения на их место пэлов.



Рис. 1. Критическая сборка с водяным замедлителем

Поглощающий элемент (пэл) представляет собой цилиндрическую оболочку из нержавеющей стали диаметром 12 мм и толщиной стенки 1 мм, заполненную порошком карбида бора естественного плотностью $\sim 1,3 \text{ г/см}^3$.

Измерение эффективности стержня осуществлялось методом «сброса», то есть в критическом состоянии в активную зону сбрасывался поглощающий стержень. В результате определения величины введенной отрицательной реактивности были найдены величины эффективностей РО СУЗ КО1 и КО2.

На рисунке 2 представлена картограмма загрузки и схема расположения детекторов нейтронов.

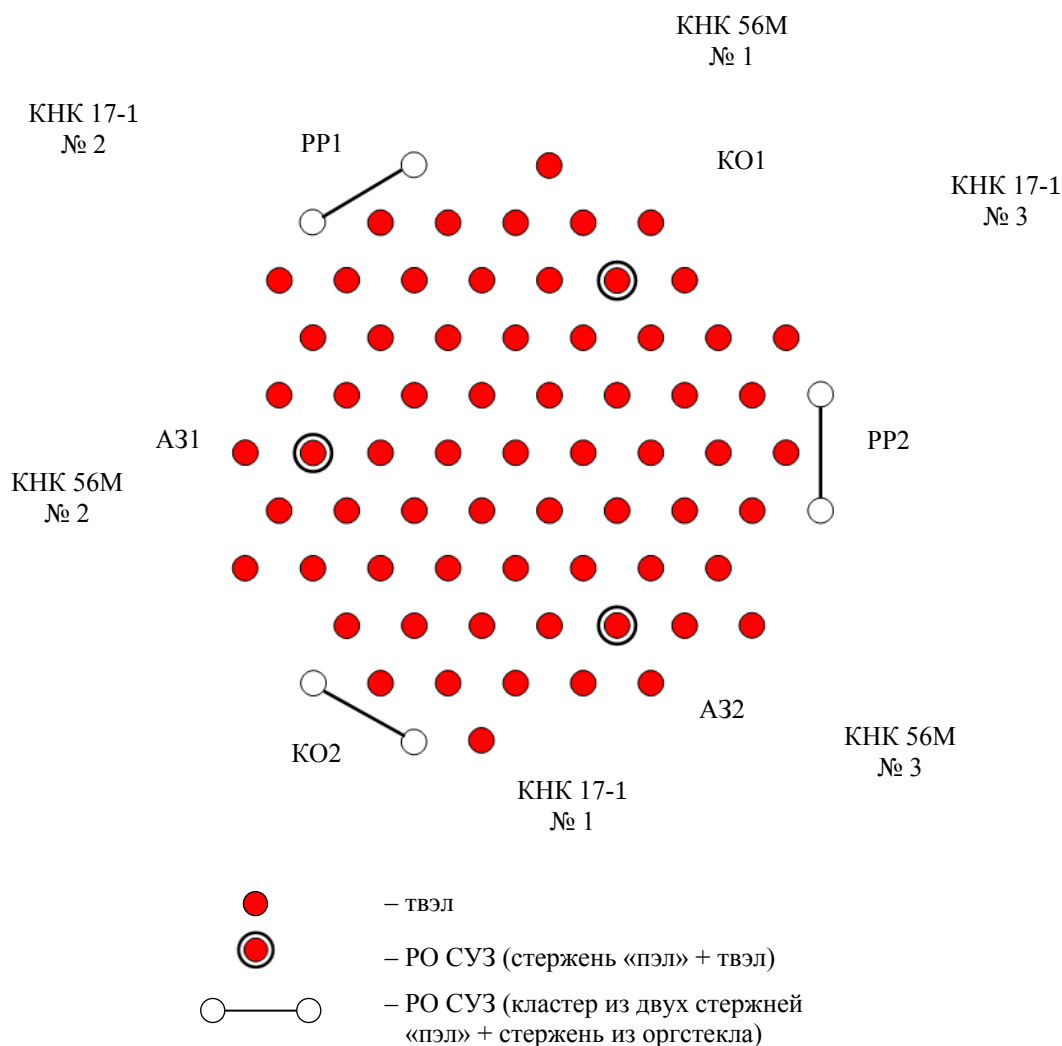


Рис. 2. Картограмма загрузки критсборки

Эффективность РО СУЗ КО1 определялась с помощью двух реактиметров ЦВР-10 – приборов, реализующих метод обращенного решения уравнений кинетики, к которым подключались ионизационные камеры двух типов. Применение двух типов ионизационных камер обусловлено различными способами компенсации в них γ -фона, который может влиять на результаты измерений.

Компенсация запаса реактивности критической сборки осуществлялась в первом случае введением на определенную глубину в активную зону РО СУЗ КО2, во втором – РО СУЗ PP1. При выполнении измерений РО СУЗ КО1 к одному реактиметру подключались ионизационные камеры КНК-56М по одной и три вместе, и определялась эффективность рабочего органа. Ко второму – ионизационные камеры КНК17-1 и аналогично определялась эффективность РО СУЗ КО1. При этом суммарная погрешность при измерении эффективности стержня порядка $2 \beta_{\text{эфф}}$ со-

ставляет около 4 %, а статистическая менее 0,5 %. Вклад систематической погрешности одинаков для всех результатов измерений. Экспериментальные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные по определению эффективности РО СУЗ КО1 при компенсации запаса реактивности критической сборки РО СУЗ КО2 и РР1

Номер ионизационной камеры	Эффективность РО СУЗ КО1*, $\beta_{эфф}$			
	Компенсация КО2		Компенсация РР1	
	КНК17-1	КНК56М	КНК17-1	КНК56М
1	1,75±0,08	2,03±0,09	1,72±0,07	1,83±0,08
2	1,84±0,08	1,78±0,08	1,82±0,08	1,82±0,08
3	1,93±0,08	1,75±0,08	1,90±0,08	1,82±0,08
1-3	1,83±0,08	1,84±0,08	1,79±0,08	1,82±0,08

* – приведена суммарная погрешность результатов эксперимента при доверительной вероятности 0,68

В результате эксперимента были получены различные значения эффективности рабочего органа КО1. Эти различия обусловлены несохранением во времени пространственно-энергетического распределения нейтронов в активной зоне при возмущении ее структуры. На основании опыта по учету пространственных эффектов для малогабаритных активных зон был предложен способ борьбы с данными эффектами.

Для устранения влияния пространственных эффектов было использовано несколько нейтронных детекторов, установленных симметрично вокруг активной зоны. Далее производилось суммирование выходных сигналов, тем самым осуществлялось усреднение.

Данный метод устранения влияния пространственных эффектов нашел широкое применение в малогабаритных реакторах, но не применим для реакторов с активными зонами больших размеров.

Также была измерена эффективность РО СУЗ КО2 с помощью ионизационных камер КНК17-1 по одной и три вместе при компенсации запаса реактивности стержнем РР1. При этом суммарная погрешность при измерении эффективности стержня порядка 0,7 $\beta_{эфф}$ составляет около 3 %, а статистическая менее 0,2 %. Экспериментальные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Экспериментальные данные по определению эффективности
РО СУЗ КО2 при компенсации запаса реактивности
критической сборки РО СУЗ РР1**

Номер ионизационной камеры КНК17-1	Эффективность РО СУЗ КО2*, $\beta_{эфф}$
1	0,706±0,021
2	0,666±0,020
3	0,666±0,020
1-3	0,678±0,020

* – приведена суммарная погрешность результатов эксперимента при доверительной вероятности 0,68

В результате эксперимента была определена эффективность РО СУЗ КО2 при использовании одного детектора нейтронов и трех вместе. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для более «легких» стержней влияние пространственных эффектов не столь значительно, так как введение в активную зону «легкого» стержня не приводит к значительным искривлениям нейтронного поля.

Выражаю благодарность научному руководителю Сикорину С. Н. за постановку задачи и полезные обсуждения и персоналу критического стенда «Гиацинт» за помощь в проведении эксперимента.

Литература

1. Могильнер А. И., Фокин Г. Н., Чайка Ю. В., Кузнецов Ф. М. Применение малых ЭВМ для измерения реактивности // «Атомная энергия», – 1974, – Том 36, – Вып. 5, с. 358–362.
2. Сарылов В. Н., Воскресенский Ф. Ф., Горбунов А. Н. Цифровые реактиметры // «Атомная техника за рубежом», – 1979, – Вып. 11, с. 19–24.
3. Полозов С. А., Сикорин С. Н. Цифровой реактиметр на базе микроЭВМ и аппаратуры КАМАК // Весці Акадэміі навук БССР. Сер. фіз.-энерг. навук., – 1987, – Вып. 4, с. 87–92.
4. Бузницкий Г. И., Головач А. И., Гриневич Ф. А., Лукьянец В. В., Сидорук Н. М., Сикорин С. Н. Аналоговый измеритель реактивности ядерного реактора // Весці Акадэміі навук БССР. Сер. фіз.-энерг., – 1992, – Вып. 1, с. 22–27.
5. Казанский Ю. А., Матвеев И. П., Тютюнников П. Л., Шокодько А. Г. К учету пространственных эффектов при измерении реактивности методом обращенного решения уравнений кинетики // «Атомная энергия», – 1981, – Том 51, – Вып. 6, – с. 387–389.
6. Наумов В. И. О некоторых особенностях пространственно-временной кинетики больших реакторов // Известия вузов. Ядерная энергетика, – 2003, – Вып. 2.

7. Жуков А. М. Минимизация влияния пространственных эффектов на измерения реактивности в быстрых реакторах нового поколения: Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Обнинск, 2012.
8. Колесов В. Ф. Истоки неточностей в реактивности, определяемой с помощью обращенного решения уравнений кинетики // «Вопросы атомной науки и техники», – 2013, – Вып. 3, с. 30–44.
9. Sikorin S. N., Mandzik S. G., Polazau S. A., Hryharovich T. K., Damarad Y. V., Palahina Y. A. Benchmark Criticality Experiments for Uranium-Water Heterogeneous Configurations with UZrCN Low Enrichment Nuclear Fuel // European Research Reactor Conference, RPFM 2013, St. Petersburg, Russia, 21–25 April 2013.
10. Сикорин С. Н., Мандик С. Г., Полозов С. А., Доморад Ю. В., Григорович Т. К., Голубева И. С., Палагина Ю. А. Эксперименты и расчеты по критичности урановодных гексагональных решеток на основе твэлов с 19,75 % обогащением по урану-235 // 11-ая Международная научно-практическая конференция по проблемам атомной энергетики «Безопасность, эффективность, ресурс ЯЭУ» (МНПК АЭ-11), Севастополь - Ласпи, Украина, 1–6.10.2013.
11. Sikorin S.N., Mandzik S.G., Polazau S.A., Hryharovich T.K., Soltan I.S., Damarad Y.V., Palahina Y.A., Gohar Y., Talamo A., Zhong Z., Bolshinsky I., Tikhvatulin Sh. T., Zhalilov R. Kh., Vishnevsky V. Yu., Daragan I. D. Benchmark Criticality Experiments for Uranium-Water Heterogeneous Configurations with Low Enrichment UZrCN Fuel // European Research Reactor Conference, RPFM 2014, 30 March – 3 April 2014 in Ljubljana, Slovenia.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ КЕРАМИК ZNO

А. В. Пашкевич

В настоящее время особое внимание уделяется поиску новых керамических материалов на основе широкозонных оксидов, а также исследованию их структуры и свойств с целью их применения в различных областях радиотехнической, электронной и оптоэлектронной промышленности [1]. Анализ литературы свидетельствует о том, что монокристаллы, поликристаллические пленки, наноструктурированные порошки и проволоки на основе оксида цинка исследованы достаточно подробно. В то же время композиции на основе ZnO, полученные по керамическим технологиям, изучены далеко не полностью. В частности, для них недостаточно подробно изучено влияние добавления в ZnO магнитных примесей, изменения режимов синтеза и последующих термообработок на химический состав керамик, структурно-фазовое и магнитное состояние образуемых фаз, а также типа формируемых собственных дефектов и комплексов на их основе и механизмы электрической проводимости керамик.