

# СОЗДАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА СМ

**Ю.А. Краснов, А.П. Малков, Н.Ю. Марихин, А.Л. Петелин,  
В.В. Пименов, В.А. Узиков, С.И. Чекалкин**  
*ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград*



Для повышения эффективности использования реактора СМ путем увеличения объема экспериментальных каналов с высокой плотностью потока нейтронов предложено размещать в ячейках, примыкающих к нейтронной ловушке, две ТВС с экспериментальными каналами диаметром 24,5мм таким образом, чтобы каналы граничили друг с другом и нейтронной ловушкой. В этом случае организуется дополнительный облучательный объем – «малая ловушка». В результате выполненных расчетно-экспериментальных исследований физических характеристик реактора СМ с «малой ловушкой» определены плотности потока нейтронов; максимальные коэффициенты неравномерности энерговыделения; теплогидравлические характеристики активной зоны; эффекты реактивности; продолжительность кампании реактора СМ. Предложенная компоновка реализована, облучение материалов в «малой ловушке» проводится в течение последних полутора лет эксплуатации реактора.

**Ключевые слова:** исследовательский реактор СМ, нейтронная ловушка, ТВС с экспериментальными каналами, формирование загрузки активной зоны, нейтронно-физические характеристики, результаты исследований.

**Key words:** research reactor SM, neutron trap, FA with experimental channels, arrangement of the core loading, neutron and physical characteristics, examination results.

Реактор СМ относится к классу исследовательских реакторов (ИР) с нейтронной ловушкой – полостью в центре активной зоны, заполненной эффективным замедлителем нейтронов [1]. Быстрые нейтроны, покидая активную зону, замедляются до тепловых энергий в нейтронной ловушке и боковом бериллиевом отражателе, которым окружена активная зона (рис.1). В качестве замедлителя нейтронов в ловушке реактора используют легкую воду и бериллий в различных сочетаниях. В центральной замедляющей полости активной зоны достигается максимальная плотность потока тепловых нейтронов. Объемы для накопления радионуклидов и облучения материалов в нейтронной ловушке в настоящее время ограниче-

© Ю.А. Краснов, А.П. Малков, Н.Ю. Марихин, А.Л. Петелин, В.В. Пименов, В.А. Узиков, С.И. Чекалкин, 2010

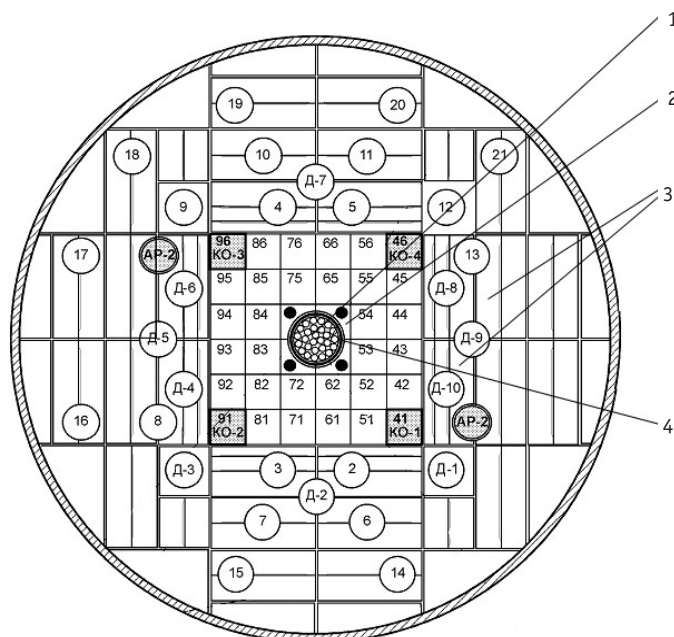


Рис. 1. Поперечное сечение реактора СМ: 1 – центральная полость для размещения мишеней; 2 – бериллиевые вкладыши; 3 – бериллиевые блоки отражателя; 4 – центральный компенсирующий орган (ЦКО);

○ 7 ○ Д-2 – канал и его номер; 81 – ячейка активной зоны с ТВС; 81 КО-2 – компенсирующий орган;

■ – стержень аварийной защиты (АЗ) в бериллиевом вкладыше;

⊙ АВ – орган автоматического регулирования (АР)

ны 27-ю каналами для размещения мишеней [2], которые используются со 100-процентной загрузкой. С учетом имеющегося спроса актуально создание дополнительных каналов с высокой плотностью потока тепловых нейтронов. В некоторых типах ТВС реактора СМ имеются экспериментальные каналы, организованные за счет удаления части твэлов, для размещения облучаемых материалов. Например, ТВС типа 184.10 содержит экспериментальный канал диаметром 24,5 мм (рис. 2). Если две такие сборки разместить на границе нейтронной ловушки так, как показано на рис.3, то появляется дополнительная замедляющая полость («малая

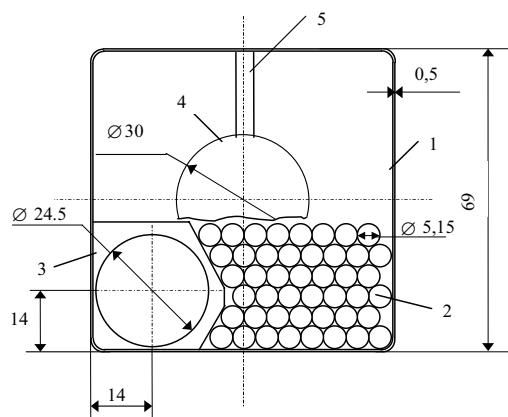


Рис. 2. Поперечное сечение ТВС с ампульным каналом: 1 – корпус; 2 – твэл; 3 – вытеснитель; 4 – головка ТВС; 5 – ребро головки

ловушка») [3]. Объем материалов, облучаемых в условиях высокой плотности потока тепловых нейтронов, возрастет при этом более чем на 20%.

Для изучения нейтронно-физических характеристик реактора СМ с «малой ловушкой» в активной зоне выполнен комплекс расчетно-экспериментальных исследований. В ходе работы определяли

- плотности потока нейтронов различных энергий в «малой ловушке»;
- распределение и максимальные коэффициенты неравномерности энерговыделения в активной зоне при наличии «малой ловушки»;
- требуемые значения выгорания топлива в ТВС типа 184.10 при их расположении на границе с центральной замедляющей полостью в геометрии «малая ловушка», при которых не произойдет превышения допустимых пределов по плотности теплового потока с оболочки твэлов;
- теплогидравлические характеристики активной зоны и облучательного устройства, разработанного для размещения в каналах ТВС типа 184.10 мишеней для накопления радионуклидов;
- эффекты реактивности от загрузки ТВС типа 184.10 в геометрии «малая ловушка» и от загрузки облучательного устройства,
- масштаб изменения эффективности органов СУЗ;
- продолжительность кампании реактора СМ при реализации «малой ловушки».

На первом этапе исследований определяли плотность и спектральные характеристики потока нейтронов в «малой ловушке». Нейтронно-физические расчеты проводили по программе MCU [4], реализующей алгоритм моделирования траекторий нейтронов в реакторе в трехмерной геометрии методом Монте-Карло. Геометрические модули пакета MCU позволяют с достаточной точностью моделировать конфигурацию и материальный состав активной зоны и отражателя реактора СМ, а также детально задавать компоновку экспериментальных устройств. Константное обеспечение кодов MCU базируется на банке библиотек нейтронных данных (библиотеки БНАБ и ТЕПКОН). Коды MCU обеспечивают требуемую точность при определении нейтронно-физических характеристик экспериментальных каналов реактора СМ и расчете распределения энерговыделения в активной зоне. Отличие коэффициентов неравномерности энерговыделения в активной зоне реактора СМ, полученных по программе MCU и в экспериментах на критсборке, составляет обычно не более 10%.

Расчеты выполняли для одной из реализованных загрузок активной зоны и отражателя реактора. Расположение ТВС типа 184.10 представлено на рис. 3. В ТВС типа 184.10. и в нейтронной ловушке моделировали имитаторы мишеней, представляющие собой стальные трубки  $\varnothing 10 \times 0,3$  мм, заполненные алюминием.

Результаты расчетов плотности потока нейтронов в мишенях в ТВС типа 184.10 и (для сравнения) мишенях центральной нейтронной ловушки (мощность реактора 90 МВт; глубина погружения КО равна среднестатистическому значению 130 мм, ЦКО извлечен) представлены в табл. 1.

Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что плотность потока тепловых нейтронов в «малой ловушке» ниже, чем в центральной замедляющей полости, но потоки нейтронов с энергией выше тепловой границы превышает аналогичные параметры в центральной ловушке. Это позволяет реализовывать оптимальные схемы накопления некоторых целевых радионуклидов, например, трансурановых элементов.

Значения коэффициентов неравномерности распределения энерговыделения определяют максимальную мощность твэлов. Поэтому их исследованию при организации «малой ловушки» уделили самое пристальное внимание. На первом эта-

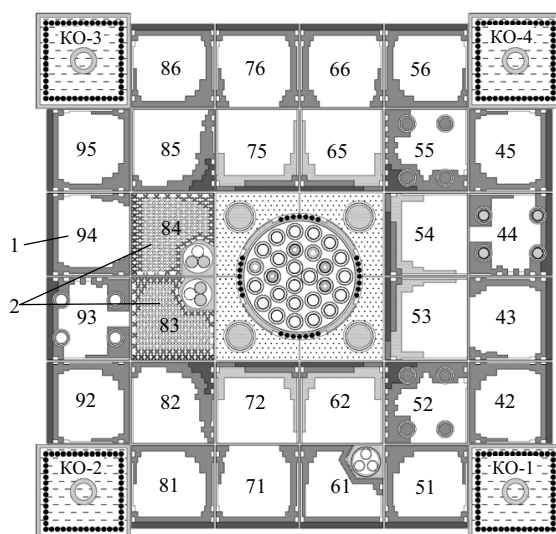


Рис. 3. Сечение активной зоны реактора СМ с ТВС типа 184.10, расположенными рядом с ловушкой в ячейках 83 и 84: 1 – штатная ТВС без экспериментальных каналов; 2 – ТВС типа 184.10 с мишенями

пе расчетов определяли мощность твэлов ТВС типа 184.10 в зависимости от среднего выгорания топлива в сборке. При этом моделировали одну из реальных картограмм загрузки активной зоны и отражателя реактора СМ. В вариантных расчетах в ТВС, образующих «малую ловушку», задавали выгорание топлива от 0 до 20%. Результаты этих расчетов показали, что при загрузке свежих ТВС типа ТВС 184.10 в геометрии «малая ловушка» может быть превышен эксплуатационный предел по мощности твэлов и, соответственно, по плотности теплового потока с их оболочки. Но при достижении выгорания топлива в ТВС 184.10 более 10% мощность твэлов не превысит допустимых значений.

Для более детального подтверждения предварительных результатов и получения данных, необходимых для обоснования безопасности реактора, требовалось выполнить уточняющие исследования для конкретных конструкций экспериментальных устройств и состава облучаемых материалов, а также реального выгора-

Таблица 1

**Результаты расчета плотности потоков нейтронов по программе MCSU**

Мишень	Плотность потока нейтронов, $10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$			
	$E > 0,1 \text{ МэВ}$	$100 < E < 0,1 \text{ МэВ}$	$0,5 < E < 100 \text{ эВ}$	$E < 0,5 \text{ эВ}$
В ТВС 184.10				
1	$1,59 \pm 0,08$	$0,96 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,03$	$0,60 \pm 0,03$
2	$1,49 \pm 0,08$	$0,95 \pm 0,05$	$0,52 \pm 0,03$	$0,71 \pm 0,04$
3	$1,65 \pm 0,08$	$0,96 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,03$
В ловушке				
внутренний ряд	$0,79 \pm 0,04$	$0,65 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,03$	$1,94 \pm 0,09$
средний ряд	$0,83 \pm 0,04$	$0,68 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,03$	$1,84 \pm 0,09$
внешний ряд	$0,93 \pm 0,05$	$0,73 \pm 0,04$	$0,51 \pm 0,03$	$1,59 \pm 0,08$

ния в ТВС типа 184.10. Такие расчеты были выполнены для нескольких планируемых вариантов загрузки активной зоны с «малой ловушкой» и подготовленных



Рис. 4. Характеристики распределения энерговыделения в реакторе СМ при размещении ТВС типа 184.10 в ячейках 83 (выгорание 22.7%) и 84 (выгорание 20.4%)

облучательных устройств для накопления трансурановых элементов. На рисунке 4 показаны результаты расчетов для одного из реализованных вариантов.

Из представленных результатов следует, что данный вариант компоновки активной зоны обеспечивает непревышение эксплуатационных пределов по максимальным тепловым нагрузкам на твэл.

Для подтверждения достоверности полученных данных по распределению энерговыделения провели независимый расчет выбранной компоновки активной зоны реактора с использованием другой расчетной модели реактора – математического имитатора IMCOR\_SM [5]. Эта модель базируется также на коде MCU, но позволяет учитывать профиль выгорания топлива внутри ТВС. При расчетах использовалась модель активной зоны с гомогенизированным по выделенным зонам (см. рис. 3) материальным составом ТВС и гетерогенным заданием двух ТВС типа 184.10, стоящих рядом с центральной полостью (рис. 3). Кроме того, в этой серии расчетов исследовали влияние на распределение энерговыделения в ТВС типа 184.10 азимутального расположения ампул с облучаемыми материалами относительно направления на центральную нейтронную ловушку.

Результаты определения профиля энерговыделения, полученные разными сотрудниками по различным математическим моделям, оказались близки. Кроме того, получено, что азимутальная ориентация облучаемых ампул в пределах погрешности расчетов не влияет на мощность максимально напряженного твэла. Эти данные позволили загружать облучательные устройства в каналы ТВС без контроля азимутальной ориентации, что упростило процедуру перегрузки.

Для обоснования безопасности реактора СМ при реализации компоновки активной зоны с «малой ловушкой» требовалось выполнить также теплогидравлические расчеты. Задачи этих расчетов заключались в оценке влияния перераспределения расходов теплоносителя из-за наличия «малой ловушки» по ячейкам активной зоны на эффективность теплосъема в ТВС и определении температурных режимов охлаждения ампул в облучательном устройстве

Расчет гидравлических параметров активной зоны и устройства для облучения ампул проводили по коду RELAP5/mod3.2. Результаты расчетов показали, что

- выбранная конструкция устройства для облучения ампул с трансурановыми элементами обеспечивает безопасные тепловые нагрузки и отсутствие подкипания на стенках мишеней;

- расчетная максимальная температура сердечника мишени из алюминиевого сплава ( $\sim 350^{\circ}\text{C}$ ) далека от температуры плавления ( $\sim 650^{\circ}\text{C}$ );

- рассмотренные варианты компоновок активной зоны обеспечивают непревышение эксплуатационных пределов по максимальным тепловым нагрузкам на твэл для всех ячеек активной зоны;

- установка двух ТВС типа 184.10 в геометрии «малая ловушка» приводит к благоприятному для твэлов активной зоны перераспределению расхода теплоносителя, так как часть расхода теплоносителя от ТВС с экспериментальными каналами перераспределяется на остальные ячейки активной зоны, улучшая при этом теплосъем с твэлов активной зоны.

Для экспериментального подтверждения перспективности предлагаемого компоновочного решения активной зоны реактора СМ провели исследования на критической сборке – физической модели реактора. Целью исследований было получение исходных данных для обоснования безопасности эксплуатации реактора и подтверждения расчетных результатов. При этом решали следующие задачи:

- определение распределения энерговыделения по твэлам ТВС, образующих «малую ловушку»;

- определение эффектов реактивности от загрузки ТВС 184.10 в активную зону и облучательного устройства в экспериментальный канал ТВС;

- исследование изменения эффективности рабочих органов (РО) СУЗ, запаса реактивности и подкритичности активной зоны реактора СМ при замене штатных ТВС без экспериментального канала на ТВС типа 184.10.

Для проведения измерений распределения энерговыделения по сечению исследуемой ТВС на критической сборке реактора СМ использовали разборные топливные сборки. Относительное энерговыделение в твэлах измеряли по  $g$ -активности осколков деления  $^{235}\text{U}$ , образующихся при облучении. Распределение энерговыделения по сечению ТВС получали путем нормировки измеренных значений активности твэлов на среднюю активность всех твэлов ТВС. Для определения распределения энерговыделения по сечению исследуемых ТВС были проведены несколько активаций, отличающихся загрузкой топлива в твэлах ТВС типа 184.10. На рисунке 5 представлены результаты одного из измерений.

При определении реактивных характеристик на критсборке использовали известные методы асимптотического периода, перекомпенсации с известной реактивностью и методы, основанные на обращенном решении уравнения кинетики, реализованные в реактиметре. Все используемые экспериментальные методики измерения нейтронно-физических характеристик аттестованы. Погрешность измеряемых реактивных характеристик не превышает  $\pm 6\%$ .

Эффект реактивности от установки ТВС 184.10 и загрузки в канал ТВС ампулы с образцами определяли по изменению положения предварительно отградуированных компенсирующих органов в критсостоянии. Запас реактивности и эффективность органов СУЗ измеряли для состояний активной зоны, отличающихся заполнением ячеек 83, 84 (ТВС типа 184.10 с макетами ОУ в каналах, штатная ТВС типа 184.08, вода).

В результате экспериментальных исследований профиля энерговыделения в ТВС, образующих «малую ловушку», получили, что максимальные значения коэффициентов неравномерности энерговыделения по сечению ТВС типа 184.10 в ис-



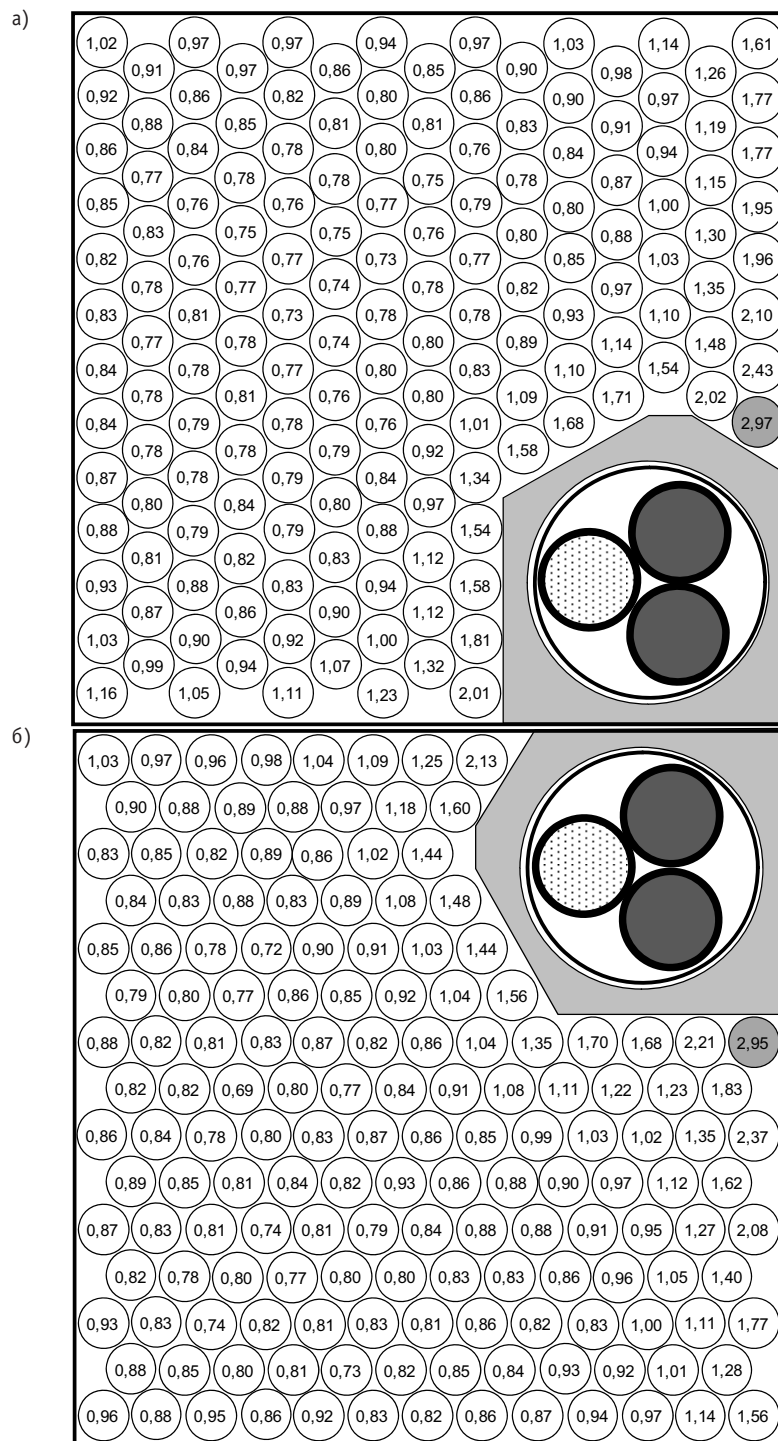


Рис. 5. Распределение энерговыделения в относительных единицах по твэлам разборных ТВС типа 184.10: а) – ячейка 83 – 5 г  $^{235}\text{U}$  на твэл; б) – ячейка 84 – 6 г  $^{235}\text{U}$  на твэл

следующей компоновке активной зоны не превышают 3,0. Это значение выше (в 1,15 раза) значения коэффициента неравномерности энерговыделения по сечению «свежей» штатной ТВС типа 184.08, установленной в ячейку, прилегающую к ней-

тронной ловушке. Тем самым результаты экспериментов подтвердили ранее полученные расчетные данные о недопустимости загрузки «свежих» ТВС типа 184.10 в геометрии «малая ловушка». Для обеспечения безопасности эксплуатации реактора в предложенном варианте компоновки активной зоны необходимо предварительно облучить ТВС с экспериментальными каналами в других ячейках до выгорания не менее 10%. Кроме этого, необходимо проводить прецизионный расчет энерговыделения в твэлах ТВС с учетом планируемой загрузки активной зоны реактора и компоновки облучательного устройства.

Результаты измерения эффективности стержней АЗ показали, что при замене штатных ТВС типа 184.08 в ячейках 83, 84 на ТВС 184.10 с ОУ в экспериментальных каналах

- суммарная эффективность РО АЗ уменьшается в 1,1 раза;
- суммарная эффективность РО КО практически не меняется, но перераспределяется между рабочими органами;
- запас реактивности уменьшается на  $0,8 \beta_{эф}$  (в 1,14 раза).

Результаты определения эффективности компенсирующих органов (КО) в зависимости от заполнения ячеек 83 и 84 представлены в табл. 2

Таблица 2

#### Эффективность КО и подкритичность активной зоны критсборки реактора СМ

№ ячейки и ее заполнение	Глубина ввода КО в активную зону, мм	Эффективность, $\beta_{эф}$					Подкритичность, $\beta_{эф}$
		КО-1	КО-2	КО-3	КО-4	сумма	
Ячейка 84 – разборная ТВС 184.10 (5 г <sup>235</sup> U на твэл) с макетом ОУ							
83 – вода	163	2,55	1,99	2,59	2,98	10,11	3,98
83 – ТВС 184.10 с макетом ОУ	228,5	2,58	3,05	3,03	2,61	11,26	2,03
83 – штатная ТВС 184.08	245,5	2,54	3,27	3,11	2,54	11,47	1,61
Ячейка 83 – разборная ТВС 184.10 (5 г <sup>235</sup> U на твэл) с макетом ОУ							
вода	163	2,74	2,55	2,01	2,74	10,05	3,95
84 – ТВС 184.10 с макетом ОУ	229	2,58	3,12	3,02	2,61	11,33	2,04

Из данных таблицы следует, что эффект реактивности от загрузки

- ТВС 184.10 (в канале – макет ОУ) в ячейках 84 и 83 практически совпадает и по изменению подкритичности не превышает  $1,96\beta_{эф}$ ;
- штатной ТВС 184.08 (без экспериментальных каналов) в ячейке 83 по изменению подкритичности не превышает  $2,37\beta_{эф}$ ;
- в центральную ячейку реактора ТВС 184.10 меньше на  $0,4\beta_{эф}$  эффекта от загрузки в эту же ячейку штатной ТВС 184.08.

Эффект реактивности от загрузки макета ОУ в экспериментальный канал типа ТВС 184.10 отрицателен и составил  $0,15\beta_{эф}$  для одного устройства.

Для оценки продолжительности кампании реактора СМ при наличии «малой ловушки» были проведены расчеты с использованием имитатора IMCOR\_SM.

Для прогнозирования длительности кампании использовали расчетные значения запаса реактивности на выгорание во временных точках планируемой кампании 8, 10 и 12,3 суток с учетом систематического отклонения среднего значения



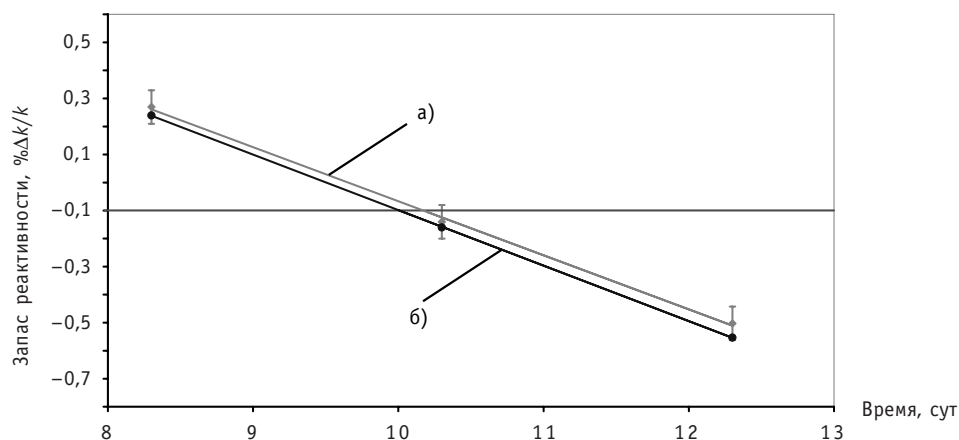


Рис. 6. Значения запаса реактивности, полученные в двух планируемых вариантах компоновки (а и б) активной зоны

реактивности в расчете предыдущих кампаний, равного  $-0,1\% \Delta k/k$ . По трем точкам методом наименьших квадратов строилась прямая и по пересечению этой прямой отметки  $-0,1\% \Delta k/k$  находилась прогнозируемая длительность кампании (рис. 6).

Расчетная продолжительность кампании при наличии «малой ловушки» в планируемых вариантах компоновки активной зоны составила около 10-ти суток, что позволяет обеспечить выполнение утвержденного графика работы реактора, т.е. не требуется применение специального алгоритма перегрузок ТВС и исходя из результатов этой серии расчетов не предполагается значимого увеличения расхода топлива при эксплуатации реактора в компоновке с «малой ловушкой».

По результатам выполненных расчетно-экспериментальных исследований подготовлено и согласовано с органами Ростехнадзора «Обоснование безопасности эксплуатации реактора СМ-3 с дополнительным экспериментальным объемом на границе нейтронной ловушки, образованном установкой двух ТВС 184.10 в центральные ячейки активной зоны». Предложенная компоновка активной зоны реализована. Облучение материалов в «малой ловушке» проводилось в течение всего 2009 г.

### Литература

1. Исследовательские реакторы НИИАР и их экспериментальные возможности / Под научн. ред. проф. В.А. Цыканова. – Димитровград: НИИАР, 1991.
2. Краснов Ю.А., Малков А.П., Рязанов Д.К. и др. Расчетно-экспериментальные исследования нейтронно-физических характеристик реактора СМ с различными вариантами компоновки нейтронной ловушки // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107. – Вып. 2. – С. 63-69.
3. Малков А.П., Петелин А.Л., Романов Е.Г. Способ загрузки активной зоны исследовательского ядерного реактора для создания облучательных объемов с высокой плотностью потока нейтронов / Заявка на изобретение № 2009130136, Приоритет от 05.08.09.
4. Gomin E., Maiorov L. The MCU Monte Carlo Code for 3D Depletion Calculation / Proc. of Intern. Conf. on Math. and Comp., Reactor Phys., and Environ. Anal. in Nucl. Applic. – Madrid, 1999. – V.2. – P. 997-1006.
5. Ванев Ю.Е., Марихин Н.Ю. Современная технология разработки имитаторов активных зон исследовательских реакторов для оперативного сопровождения их эксплуатации // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. – 2005. – Вып. 1. – С. 92-99.

Поступила в редакцию 21.05.2010

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.534

*Some Benefits from Use of Radiogenic Lead as a Coolant of Fast Reactors* \V.A. Apse, A.N. Shmelev, A.M. Sirotkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 11 pages, 7 tables. – References, 12 titles.

The paper evaluates a possibility to improve some thermal-physical parameters of lead-cooled fast reactors (BREST-type reactors) by using radiogenic lead with large content of isotope  $^{208}\text{Pb}$  as a coolant. The paper demonstrates that unique neutron-physical properties of  $^{208}\text{Pb}$  allow to use more sparing conditions for routine operation of lead-cooled fast reactors on coolant velocity and pressure drop for coolant flow through the reactor core while coolant heating up and total thermal power is kept constant.

### УДК 621.039.51

*Singular Approach in Physical Calculations of the Fast Reactor Plant* \A.A. Bezborodov, E.V. Dolgov, D.A. Klinov, V.V. Kolesov, V.Yu. Stogov, I.R. Suslov, V.I. Folomeev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 7 pages, 1 table. – References, 20 titles.

The aim of the paper is considering of the application of the singular functions technique employment in practical tasks for description of neutron cross-sections interactions with media nuclides nuclei in resonance part of energy for physical simulation of the fast reactor plants, in which non-resolution field is important.

### УДК 621.039.548

*Peculiar Features of the MIR Reactor Core Configuration* \A.L. Izhutov, V.V. Kalygin, A.P. Malkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 6 pages, 5 illustrations. – References, 7 titles.

Presented are principles of core configuration of the MIR lope-type research reactor, which allow the required irradiation conditions of experimental fuel elements and assemblies to be provided. Preliminary testing results substantiated an increase in the number of control rods. This ensured the observance of nuclear safety requirements during reloading of the reactor taking account of personnel errors and also possibility to provide conditions in the MIR core suitable for the performance of new types of experiments. The proposed and implemented method of non-uniform loading of the core ensures saving of fuel, minimization of the reactor power during simultaneous irradiation of several experimental fuel assemblies and constancy of neutron flux profile in the experimental channels.

### УДК 621.039.56

*Conditions for Minimum Deviation from Zero Level of Reactivity in Point Model for Unlocked Burnable Poison* \Yu.A. Kazansky, D.M. Titov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 10 titles.

For the low power reactors in the implementation of the idea of self-control, it is important to obtain the time dependence of reactivity, possibly a little different from zero level. At the same time, we know that by using of burnable poison positive overshoot of reactivity is observed. In this paper we present conditions under which it is possible to realize the minimum deviation from zero reactivity during burnup

### УДК 621.039.548

*Arrangement of Additional High-Flux Irradiation Volumes in the SM Reactor Core* \Yu.A. Krasnov, A.P. Malkov, A.L. Petelin, V.V. Pimenov, V.A. Uzikov, S.I. Chekalkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 9 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 5 titles.

To increase the effectiveness of the SM operation by arranging additional irradiation volume in the high-flux channels, it was proposed to locate two FAs with experimental channels 24.5mm in diameter in the core cells adjacent to the neutron trap. The channels should be adjacent both to the neutron trap and to each other. In this case, additional irradiation volume, so-called «small trap», can be arranged. The calculations and experiments performed to investigate the SM characteristics in the

presence of the «small» trap resulted in the evaluation of the neutron flux density, maximal coefficients of heat rate non-uniformity, reactivity and duration of the SM run. The proposed arrangement has been implemented and materials have been irradiated in the «small» trap for the last 1.5 years of the SM operation.

#### УДК 621.039.56

*Change of the SM Reactor Core Characteristics under the Variation of the Control Rods Arrangement* \ A.V. Klinov, V.A. Starkov, Yu.B. Chertkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 1 table, 6 illustrations. – References, 6 titles.

The results of neutron-physical calculations of the SM reactor characteristics under various control rods arrangement are presented. Two most intensive reactor campaigns were considered to obtain the dependence of the non-uniformity coefficient of the heat rate distribution over the FA cross-section as well as thermal flux density on the fuel rod surface and thermal neutron flux density vs. the mutual arrangement of the central shim rod (CSR) and periphery shim rods (SR). The dependence of fluence and thermal flux density on the sequence of the control rods removal has been studied as well.

#### УДК 621.039.517

*Change of the Heat Rate Distribution in the SM Reactor Core during its Refueling and Campaigns* \ A.V. Klinov, V.V. Pimenov, V.A. Starkov, Yu.B. Chertkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 9 pages, 3 tables, 5 illustrations. – References, 4 titles.

The results are presented of neutron-physical calculations of the SM reactor campaigns performed during the reactor operation in 2000-2010. With the account of fuel burnup in the fuel rods and arrangement of the control rods, the heat rate distribution has been defined as well as the maximal thermal flux density values. The mechanisms of heat rate distribution during the reactor refueling and campaigns were examined, the control rods being removed according to the set procedure. A methodical approach to the evaluation of the core hydroprofiling has been proposed.

#### УДК 621.039.51

*Graph Representation for VVER-1000 Core Conditions* \ R.R. Alyev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 8 pages, 8 illustrations. – References, 4 titles.

A method is presented which makes it possible to control core conditions is based on in-core monitoring data handling (power density detectors (PDD) and thermocouples (TC)). To control core conditions the method also enables to use PDD and TC together and to represent output in well-behaved view. The method is used for analyzing in-core monitoring data at Kalinin NPP. Adequate mapping of core conditions has been verified.

#### УДК 621.039.58

*Neural Network Models for signal filtering and PWR leakage Diagnostics* \ A.O. Skomorokhov, A.A. Kudryev, S.A. Morozov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 9 pages, 2 tables. – References, 7 titles.

The article is devoted to the diagnosis of anomalous situations involving loss of coolant in the 1-st loop of PWR reactors. The results of studies carried out in implementing the system diagnosing leaks on KalNPP. Considered by multiple polynomial models for filtering acoustic signals in a system of reactor pipes leakage control, to reduce the likelihood of false alarms of the system. Proposed neural network algorithm for diagnosing the leakage.

#### УДК 629.039.58

*LINQUAD Program Validation for Uncertainty Analysis of Transient Emergency Process Calculation Results on Nuclear Energy Installation with VVER-1000 Reactor* \ M.A. Uvakin, I.G. Petkevich; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 1 table, 8 illustrations. – References, 7 titles.

This work deals with LINQUAD program application for uncertainty analysis of transient processes calculation by the example of international test problem with steam pipe rupture on reactor installation. Also, there is a comparing of LINQUAD method with GRS method which is widely used for similar