

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА СМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

А.В. Клинов*, В.А. Старков*, Ю.Б. Чертков**

**ОАО «ГНЦ НИИАР», г.Димитровград*

***Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск*



Приводятся результаты расчетов нейтронно физических характеристик реактора СМ при различных положениях регулирующих органов. Получены зависимости коэффициента неравномерности распределения энерговыделения по сечению ТВС, максимальной плотности теплового потока на поверхности твэла и плотности потока тепловых нейтронов в объемах облучения от взаимного положения центрального (ЦКО) и периферийных компенсирующих органов (КО). Исследована зависимость годового флюенса в объемах облучения и плотности теплового потока от последовательности извлечения регуляторов. Определено влияние петлевых и ампульных каналов большого диаметра на распределение энерговыделения в модернизированной активной зоне.

Ключевые слова: энерговыделение, плотность теплового потока, тепловыделяющая сборка (ТВС), коэффициент неравномерности распределения энерговыделения, орган регулирования, плотность потока нейтронов, флюенс нейтронов.

Key words: heat rate, thermal flux density, fuel assembly (FA), non-uniformity coefficient of the heat rate distribution, control rod, neutron flux density, fluence.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения главных задач стратегии развития атомной энергетики России требуется проведение ряда НИОКР по совершенствованию топливного цикла действующих АЭС, продлению ресурса, повышению безопасности. Новые задачи выдвигаются в связи с тем, что, как теперь уже очевидно, АЭС с легководными реакторами третьего поколения будут эксплуатироваться и во второй половине XXI в. Ставится задача обеспечения продления ресурса действующих энергоблоков до 60-ти лет, а время пребывания топлива в активной зоне – до пяти лет. Большой объем испытаний и исследований должен быть проведен в исследовательских реакторах, причем с обеспечением не только близких к рабочим условий экспериментов, но и высоких темпов набора нейтронного флюенса, а также накопления трансмутантов в облучаемых материалах. В реакторе СМ давно проводятся высокодозные облучения. Для их организации используются следующие его особенности:

© А.В. Клинов, В.А. Старков, Ю.Б. Чертков, 2010

- в отличие от других исследовательских реакторов с водяным охлаждением активная зона реактора характеризуется жестким нейтронным спектром и высоким удельным энерговыделением, поэтому скорость повреждения материалов быстрыми нейтронами в облучательных ячейках топливной части близка к скорости повреждения в реакторах на быстрых нейтронах;

- в отличие от исследовательских реакторов на быстрых нейтронах с охлаждением натрием, для которых характерны высокая температура теплоносителя, сложность обеспечения водной среды в облучательном объеме и малая доступность экспериментальных устройств, в реакторе СМ возможно организовать инструментанные облучения материалов в режимах, соответствующих условиям их работы в реакторах ВВЭР, PWR;

- в активной зоне реактора наряду с нейтронами высоких энергий присутствуют нейтроны с меньшими, вплоть до тепловой, энергиями, что позволяет параллельно с накоплением повреждающей дозы накапливать ядра-трансмутанты, обеспечивая нужное соотношение скоростей этих процессов.

Имеющиеся в реакторе ампульные облучательные каналы малого (~12 мм) диаметра в специальных топливных сборках с высотой активной части 350 мм используются, в основном, для накопления отдельных радионуклидов и, в ограниченных случаях, для облучения образцов материалов ядерных и термоядерных реакторов при плотности потока нейтронов с энергией $E \geq 0,1$ МэВ $2 \cdot 10^{15}$ см⁻²·с⁻¹. Такие размеры каналов не позволяют использовать достоинства реактора в полной мере из-за отсутствия возможности размещать облучательные устройства с большим числом образцов, регулировать температурный и водно-химический режимы, использовать необходимую инструментовку. В связи с появлением потребности в увеличении повреждающей дозы в образцах материалов водоохлаждаемых реакторов до 100 сна и больше, обеспечивая ее в инструментированных и регулируемых устройствах исследовательских реакторов, было решено провести модернизацию активной зоны реактора СМ с целью размещения в ее объеме каналов облучения большого диаметра [1].

Модернизация активной зоны должна обеспечить возможность проведения длительных облучений, в том числе в инструментированных устройствах большого диаметра, при скорости повреждения до 20 сна в год, скорости наработки гелия в диапазоне до 500–1000 аррт в год, при температурах до 350°C и в заданном водно-химическом режиме. Для ее достижения в топливной части активной зоны необходимо разместить один-два петлевых канала Ø63 мм, четыре ампульных канала Ø25 мм при сохранении 24 имеющихся каналов Ø12 мм и без принципиальных изменений конструкции основных компонентов реактора, петлевых установок и технологических систем. Пути восполнения дефицита топлива и, как следствие, оперативного запаса реактивности при размещении дополнительных облучательных объемов вместо части твэлов общеизвестны и заключаются в повышении концентрации ²³⁵U в топливной композиции и(или) снижении вредного поглощения нейтронов в объеме активной зоны. На первом этапе был запланирован переход на использование ТВС с чехлом из сплава 110 вместо нержавеющей стали и с твэлами, содержание ²³⁵U в которых повышено с 5 до 6 г на твэл без изменения других характеристик. На рисунке 1 представлены картограммы активной зоны СМ.

Плотность потока тепла с поверхности твэлов в реакторе достигает 15 МВт/м² (среднее значение по периметру твэла), а коэффициент неравномерности распределения энерговыделения по объему $K_v \sim 5.6$; при близком к максимальному значению плотности потока тепла на поверхности твэлов имеет место кипение воды. Оно определяет эксплуатационные запасы и теплотехническую надежность актив-

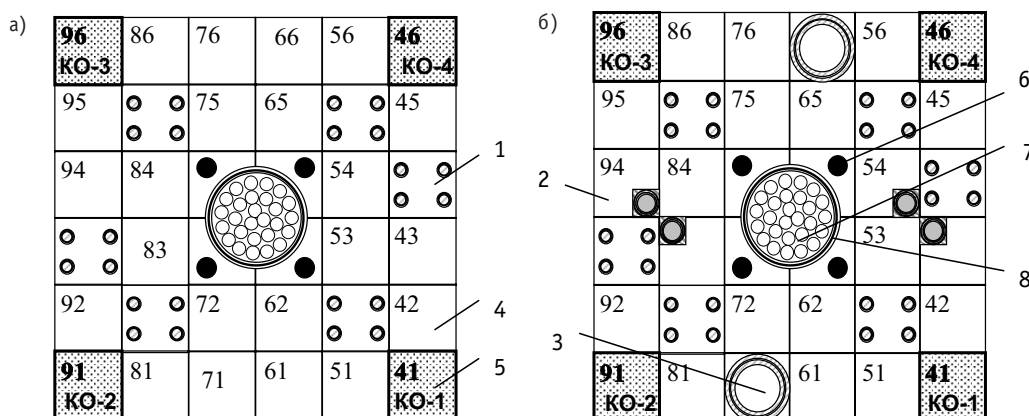


Рис. 1. Схемы эксплуатируемой а) и базовой модернизированной б) активных зон реактора СМ: 1 – топливная сборка с ампульными каналами (АК) $\varnothing 12$ мм; 2 – топливная сборка с ампульными каналами $\varnothing 25$ мм; 3 – экспериментальный петлевой канал (ЭПК) $\varnothing 63$ мм; 4 – топливная сборка; 5 – компенсатор реактивности (КО); 6 – стержень аварийной защиты (АЗ); 7 – центральный замедляющий блок (ЦЗБ); 8 – центральный компенсатор реактивности (ЦКО)

ной зоны при работе реактора на номинальной мощности. Общим для всех высоконапряженных активных зон с большой гетерогенностью и большим недогревом теплоносителя служит то, что одним из основных факторов, ограничивающих мощность твэла в них, является кризис теплоотдачи. Все это обуславливает важность задачи детального исследования распределения энерговыделения в активной зоне реактора СМ, его изменения при перемещении органов СУЗ и изменении компоновки активной зоны при ее модернизации, так как для этого реактора проблема стоит наиболее остро из-за компактности активной зоны, сочетающейся с высокой плотностью мощности.

Основная трудность, возникающая при формулировке стандартной задачи о моделировании распределения энерговыделения и проведении сравнительного анализа характеристик, связана с использованием в реакторе режима частичных перегрузок топлива, который вносит большую неопределенность в распределение топлива по активной зоне в начале кампании. Ранее, в условиях штатной компоновки при неизменном числе рабочих ТВС в активной зоне задача определения номера ячейки с максимальной величиной плотности мощности в топливе и ее значения носила разовый характер и решалась путем измерения на физмоделю или расчета максимального значения энерговыделения в топливной сборке с необлученным топливом, которая последовательно устанавливалась в различные ячейки активной зоны. При этом предполагалось, что распределение выгорания топлива по объему активной зоны равномерное.

Учитывая то, что выгорание топлива в ТВС ближайшего окружения сборки с необлученным топливом оказывает заметное влияние на максимальное значение энерговыделения, а также необходимость работы реактора с различным числом рабочих тепловыделяющих сборок (в зависимости от числа установленных петлевых каналов), при определении базового распределения выгорания топлива в начале кампании в данной работе был применен другой подход. Он основан на моделировании большого числа загрузок, реализованных на реакторе, и выборе компоновок, которые характеризовались наибольшей неравномерностью распределения энерговыделения в активной зоне. При таком подходе требуется программное обеспечение, позволяющее проводить детальный (потвэльный) расчет энерговыделения и выгорания топлива в процессе кампании реактора.

Задачей работы было исследование а) изменения поля энерговыделения в процессе выгорания топлива при движении органов регулирования в активной зоне штатной компоновки; б) влияния на распределение плотности мощности в топливе изменения компоновки активной зоны.

Положение ЦКО и КО влияет не только на распределение энерговыделения по активной зоне, но и на плотность потока нейтронов в облучательных устройствах (ОУ). Поэтому в работе сделана попытка установления оптимального режима движения регуляторов реактора с целью снижения плотности мощности в твэлах для повышения эксплуатационных запасов при минимальном снижении плотности потока нейтронов в облучаемых образцах.

Предварительно было проведено моделирование около 15-ти компоновок активной зоны, реализованных на реакторе, и в соответствии со сформулированной выше методикой выбраны распределения выгорания топлива на начало кампаний, наиболее напряженных с точки зрения достигнутой в них плотности теплового потока с поверхности твэлов [2, 3]:

- кампания, проведенная с 23.01.01 по 03.02.01;
- кампания, проведенная с 25.04.01 по 05.05.01.

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА

При проведении нейтроннофизических расчетов была использована программа MCURFFI/A [4], предназначенная для решения уравнения переноса нейтронов методом МонтеКарло на основе оцененных ядерных данных для систем с произвольной трехмерной геометрией. Вместе с библиотекой констант DLC/MCUDAT-1.0 программа аттестована ГАН России (регистрационный номер паспорта аттестации 61 от 17.10.96) для расчета критичности широкого класса размножающих нейтроны систем с топливом из низко- и высокообогащенного урана, плутония и замедлителями водным, тяжеловодным, графитовым, гидридциркониевым и другими. Программа с разработанной для этих исследований полномасштабной расчетной моделью реактора позволяет рассчитывать распределения энерговыделения, плотность потока нейтронов в каждом твэле с учетом положения органов регулирования. Модель была тестирована на большом объеме экспериментальных данных по распределениям энерговыделения и продуктов деления в твэлах реактора СМ [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

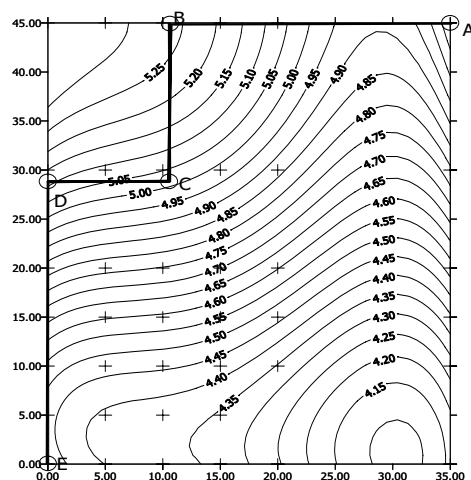
Параметры распределения энерговыделения в активной зоне

На рисунке 2 показаны линии одинаковых максимальных значений мощности ТВС при разных положениях регуляторов, полученные аппроксимацией результатов расчета характеристик вариантов компоновки методом наименьших квадратов.

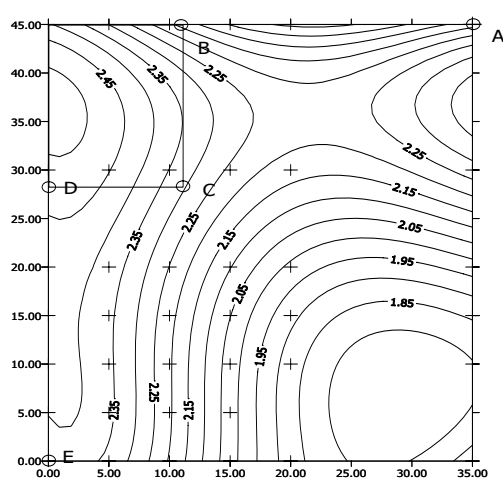
При погружении ЦКО и извлечении КО максимальное значение мощности ТВС уменьшается и поле энерговыделения по активной зоне выравнивается. Изменение положения КО гораздо сильнее сказывается на распределении мощности между ТВС, чем положения ЦКО. При регламентном извлечении стержней регулирования максимальные значения мощности ТВС достигаются, когда регуляторы занимают следующие положения: ЦКО – 110 мм; КО – 450 мм (точка В) и ЦКО – 0 мм; КО – 280 мм (точка Д).

На рисунке 3 показаны линии одинакового уровня для значений максимальных коэффициентов неравномерности энерговыделения по сечению ТВС, получаемых при разных положениях регуляторов.

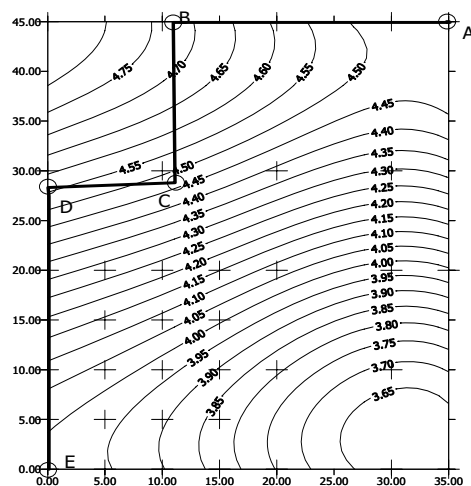
Из рисунков видно, что изменение положения КО гораздо слабее влияет на ве-



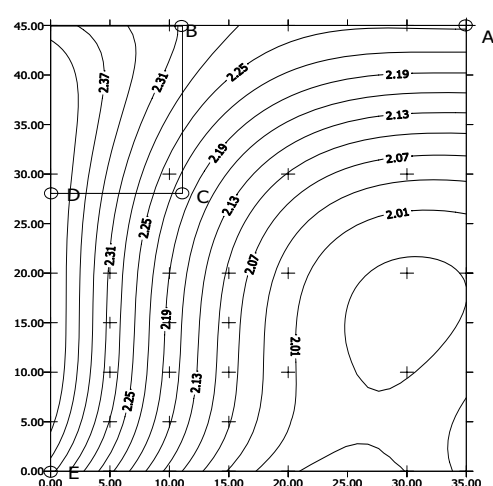
а) кампания от 23.01.01



а) кампания от 23.01.01



б) кампания от 25.04.01



б) кампания от 25.04.01

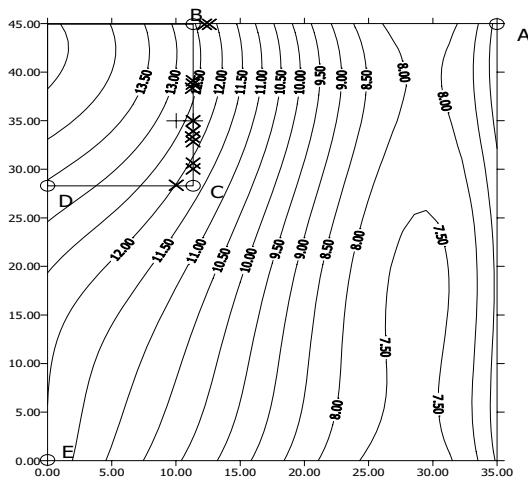
Рис. 2. Линии одинаковых значений максимальной мощности ТВС (МВт) при изменении положения регуляторов КО (ось Y, см) и ЦКО (ось X, см). Линия ABCDE соответствует регламентному порядку извлечения регуляторов

Рис. 3. Линии одинаковых значений максимального коэффициента неравномерности энерговыделения по сечению ТВС при изменении положения регуляторов КО (ось Y, см) и ЦКО (ось X, см). Линия ABCDE соответствует регламентному порядку извлечения регуляторов

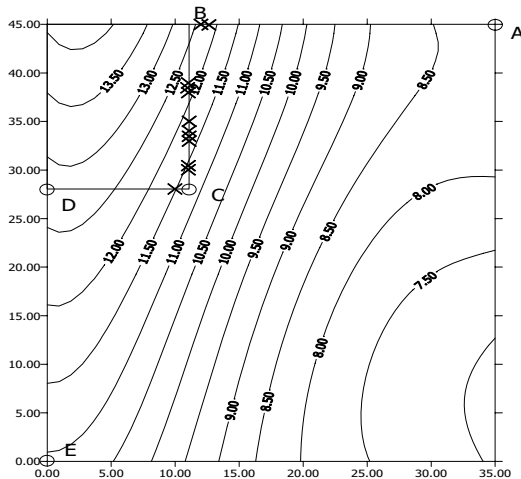
личину коэффициента неравномерности энерговыделения по сечению ТВС по сравнению с изменением положения ЦКО. Максимальные значения коэффициента неравномерности также достигаются в точках В и Д при регламентном извлечении регуляторов. Максимальная мощность ТВС и значение коэффициента неравномерности распределения энерговыделения по сечению сборки в обеих кампаниях достигаются в ячейке 54 (см. рис. 1), где установлена сборка с необлученным топливом.

Влияние порядка извлечения регуляторов на характеристики активной зоны при выводе реактора на мощность и в первые сутки работы

На рисунке 4 показаны линии одинаковых значений максимальной плотности теплового потока, полученные путем аппроксимации результатов расчета мето-



а) кампания от 23.01.01



б) кампания от 25.04.01

Рис. 4 Линии одинаковых значений максимальной плотности теплового потока на поверхности твэла (MWt/m^2) при различных положениях регуляторов КО (ось Y, см) и ЦКО (ось X, см). Линия ABCDE соответствует регламентному порядку извлечения регуляторов. Точки, отмеченные значком «х», – положения регуляторов в моменты достижения номинальной мощности

по 25.04.01 г.), для наглядности отмечены на рис. 4 знаком «х». Из рисунка видно, что через точку В при номинальном уровне мощности в своем движении регуляторы проходят в небольшом числе кампаний (в двух кампаниях из 14), через точку Д – во всех кампаниях. Кроме того, как видно из рисунка максимальная плотность теплового потока в точке Д несколько больше (на 1 – 1,5 MWt/m^2), чем в точке В. Таким образом, если поставить задачу снижения максимальной плотности теплового потока путем изменения регламентного порядка извлечения регуляторов, то она может решаться с помощью поиска путей обхода снизу точки Д без изменения порядка извлечения стержней на участке АВС.

дом наименьших квадратов. Несмотря на некоторое различие характера кривых на рис. 4а) и б) наблюдаются следующие общие черты:

- максимумы рассмотренных распределений находятся в верхнем левом углу (ЦКО – 0 см, КО – 45 см), а минимумы – в противоположной стороне (ЦКО – 35 см, КО – 0 см);
- при регламентном извлечении регуляторов максимальные значения плотности теплового потока достигаются, как и для максимальной мощности ТВС, в точках В и Д (см. рис. 2);
- на участке CD плотность теплового потока увеличивается на $\sim 1.5 \text{ MWt/m}^2$ и в точке Д достигает максимальных значений за кампанию.

ЦКО извлекается из активной зоны в первоочередном порядке в связи с необходимостью обеспечить максимальный флюенс нейтронов для мишеней, облучаемых в центральной замедляющей полости, за кампанию.

Как правило, при выводе на мощность после перегрузки реактор находится в состоянии нестационарного отравления. Поэтому до момента выхода на номинальный уровень мощности оперативный запас реактивности может менять знак производной по времени и увеличиваться (табл. 1.)

Однако после выхода на номинальную мощность стержни перемещаются только вверх. Положения регуляторов, при которых достигается номинальный уровень мощности реактора (14 кампаний с 19.10.00 г.

Таблица 1

Положение регуляторов при выводе реактора на мощность

Мощность, МВт	Кампания от 23.01.01		Кампания от 25.04.01	
	КО	ЦКО	КО	ЦКО
5	138	0	280	100
25	170	0	300	110
50	200	0	340	110
75	250	0	370	110
80	280	0	390	110
85	258	110	395	110
90	300	110	390	110
90 (через 4 ч)	285	110	325	110

На рисунке 5 приведены некоторые из возможных схем движения регуляторов, с помощью которых можно было бы решить эту задачу и обеспечить неперевышение допустимого регламентом значения плотности теплового потока в точке Д или до нее.

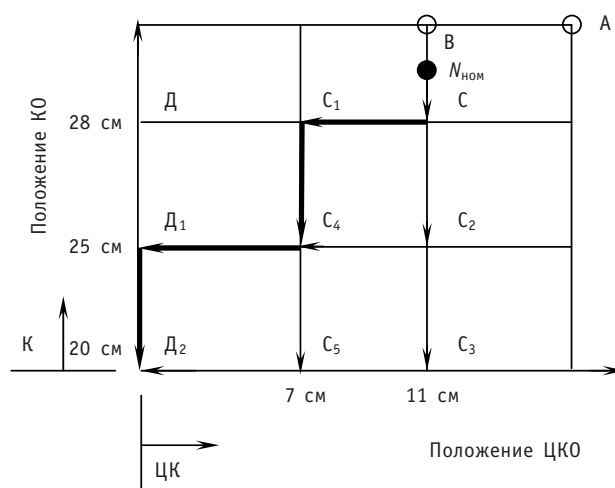


Рис. 5. Возможные схемы извлечения регуляторов: ○ ● – точки, соответствующие положению регуляторов при достижении номинального уровня мощности

В соответствии с этим рисунком возможны следующие варианты движения регуляторов:

- | | | | | | |
|---|---|----------------|----------------|----------------|---|
| 1 | С | С ₁ | Д | Д ₁ | Д ₂ – штатная схема движения регуляторов |
| 2 | С | С ₁ | С ₄ | Д ₁ | Д ₂ |
| 3 | С | С ₂ | С ₄ | Д ₁ | Д ₂ |
| 4 | С | С ₁ | С ₄ | С ₅ | Д ₂ |
| 5 | С | С ₂ | С ₄ | С ₅ | Д ₂ |
| 6 | С | С ₂ | С ₃ | С ₅ | Д ₂ |
| 7 | С | Д ₂ | | | – по прямой, соединяющей эти точки. |

Переход на отличный от штатного порядок извлечения регуляторов приведет к увеличению времени нахождения ЦКО в активной зоне при движении от уровня

110 мм до нуля. Это в свою очередь может уменьшить среднюю за кампанию плотность потока нейтронов и флюенс для образцов в облучательных объемах ловушки и увеличить соответствующие показатели для каналов в отражателе. Таким образом, задача выбора последовательности извлечения регуляторов является оптимизационной.

На рисунке 6 приведены расчетные диаграммы изменения максимальной плотности теплового потока на поверхности твэлов для двух вариантов режима извлечения регуляторов в процессе кампании, начатой 23.01.01:

- близком к штатному С (11; 30.5 см) С₁-Д₁-Д₂ (0; 20 см), реализованному в указанной кампании;
- по диагонали С (11; 30.5 см) Д₂ (0; 20 см) рис. 5 (практически это может быть реализовано при поочередном извлечении ЦКО и КО ступенями по 1–3 см).

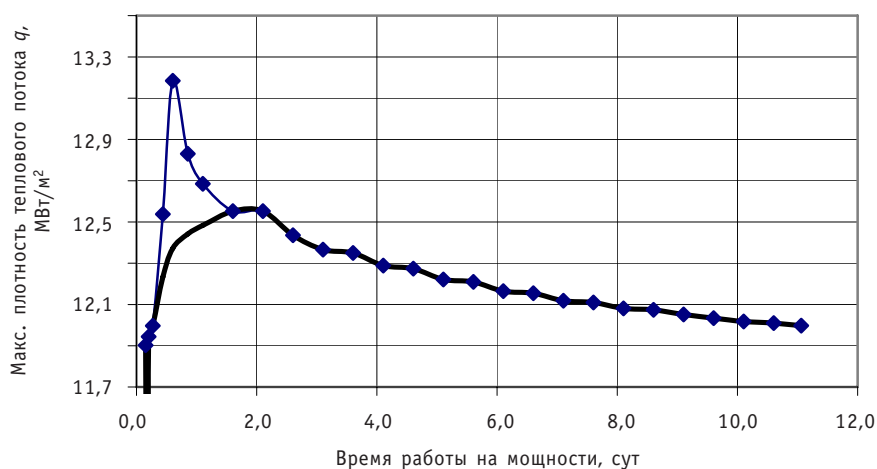


Рис. 6. Расчетные диаграммы изменения максимальной плотности теплового потока на поверхности твэлов в процессе кампании от 23.01.01 для двух вариантов режима извлечения регуляторов:

- ◆ — последовательность извлечения регуляторов соответствует регламенту;
- — последовательность извлечения регуляторов соответствует прямой СД₂

Полученные результаты показывают, что при регламентной последовательности извлечения регуляторов после выхода на номинальный уровень мощности в течение ~0,5 сут наблюдается пиковое увеличение плотности теплового потока, обусловленное извлечением ЦКО на участке 11 – 0 см. Обход точки Д (ЦКО – 0 см, КО – 28 см), показанной на рис. 5, по любому из предложенных выше маршрутов позволяет уменьшить значение плотности теплового потока на 0,3–0,6 МВт/м².

Наименьшие потери в наборе флюенса образцами в ЦЗБ достигаются при использовании режима извлечения регуляторов №2 – С-С₁-С₄-Д₁-Д₂ (на рис. 5 выделен жирной линией) или №7 (поочередное извлечение ЦКО и КО ступенями по 1–3 см с переходом из точки С в точку Д₂ по линии, близкой к прямой). Эти потери составляют не более 0,1% за кампанию. При этом максимальная плотность теплового потока могла бы быть снижена

- с 13,2 до 12,6 МВт/м² – в первую из рассмотренных кампаний и
- с 12,7 до 12,2 МВт/м² – во вторую.

При использовании режима 4, С-С₁-С₄-С₅-Д₂, обеспечивается неперевышение значения плотности теплового потока, достигаемого в точке В (12,5 МВт/м²). Однако потери флюенса тепловых нейтронов за кампанию в образцах в ЦЗБ увеличиваются до 0,9–1,3%.

Влияние перекомпоновки активной зоны на распределение энерговыделения

При расчетах характеристик модернизированной активной зоны (см. рис.16)) предполагали, что вновь организованные экспериментальные объемы в активной зоне заполнены смесью из железа (70%) и воды (30%); алгоритм частичных перегрузок топлива в модернизированной активной зоне не должен принципиально отличаться от того, который реализуется в существующей активной зоне. Поэтому распределение выгорания в ней тоже будет аналогично существующему. Сравнительные расчеты характеристик штатной и модернизированной активных зон были проведены для распределения выгорания топлива по ячейкам на начало кампании реактора, реализованной с 23.01.01 по 03.02.01.

В результате расчетов показано [6], что при переходе от штатной к модернизированной активной зоне реактора СМ основные изменения плотности теплового потока на поверхности твэлов связаны с уменьшением общего числа твэлов. При уменьшении номинального значения мощности реактора с модернизированной активной зоной до 91,7 МВт (среднее объемное энерговыделение 2 МВт/л) этот параметр снижается до первоначального значения (13.5 МВт/м²).

При переходе к модернизированной активной зоне коэффициент неравномерности энерговыделения по сечению ТВС увеличивается примерно на 20% в ячейках, расположенных рядом с экспериментальными петлевыми каналами (это не является ограничивающим мощность фактором), и практически не изменяется ($\pm 6\%$) в остальных ячейках. Азимутальный коэффициент неравномерности энерговыделения вокруг облучательных ампульных каналов $\varnothing 10$ и 25 мм составляет 1,15 и 1,24 соответственно.

При анализе распределения максимальной плотности теплового потока по ячейкам реактора отмечено, что максимальные значения этого параметра наблюдаются в ТВС с выгоранием 0–10%, расположенных в прилегающих к центральному замедляющему блоку ячейках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- С использованием методики потвэльного расчета энерговыделения с учетом выгорания топлива проведено детальное исследование характеристик поля энерговыделения по сечению активной зоны и ТВС реактора СМ в зависимости от положения органов регулирования при регламентной последовательности извлечения регуляторов.

- Исследованы зависимости максимальной плотности теплового потока и флюенса тепловых нейтронов за кампанию в объемах облучения ЦЗБ и отражателя от режима извлечения регуляторов в первые несколько суток работы реактора на номинальной мощности. Предложены варианты изменения регламента извлечения регуляторов ЦКО и КО с целью уменьшения максимального значения плотности теплового потока в активной зоне реактора.

- Получены характеристики поля энерговыделения в базовой компоновке модернизированной активной зоны. Показано, что

- максимальное значение коэффициента неравномерности распределения энерговыделения по сечению ТВС увеличивается на $\sim 20\%$ для ячеек 56, 81, расположенных рядом с петлевыми каналами (это не является фактором, ограничивающим мощность), и практически не изменяется ($\pm 6\%$) в остальных ячейках; максимальные значения азимутальных коэффициентов неравномерности распределения энерговыделения вокруг ампульных каналов $\varnothing 12$ и 25 мм составляют 1.15 и 1.24;

– значение максимальной плотности теплового потока в модернизированной активной зоне на 10–12% превышает соответствующее значение для существующей при неизменной мощности реактора и обусловлено уменьшением общего количества твэлов в активной зоне. При уменьшении номинального значения мощности модернизированного реактора от 100 до 91.7 МВт этот параметр снижается до прежнего уровня, что следует рассматривать как плату за расширение облучательных возможностей.

Литература

1. Клинов А.В., Цыканов В.А., Старков В.А., Пименов В.В., Чертков Ю.Б. Модернизация активной зоны реактора СМ для решения задач материаловедения // Атомная энергия. – 2002. – Т. 93. – № 3. – С. 167.
2. Клинов А.В., Старков В.А., Чертков Ю.Б. и др. Анализ изменения распределения энерговыделения в активной зоне реактора СМ в зависимости от ее компоновки / Годовой отчет: Сб. ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР». – Дмитровград, 2004. – С. 23-25.
3. Бестужева И.В., Старков В.А., Чертков Ю.Б., Чекалкин С.И. Исследование нейтронно-физических параметров активной зоны реактора СМ при изменении положения регулирующих органов / Годовой отчет: Сб. ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР». – Дмитровград, 2003. – С. 23-25.
4. Гомин Е.А., Гуревич М.И., Майоров Л.В., Марин С.В. Описание применения и инструкция для пользователя программой MCS-RFFI расчета методом Монте Карло нейтроннофизических характеристик ядерных реакторов / Препринт ИАЭ-5837/5. – М.: ИАЭ, 1994.
5. Чертков Ю.Б., Старков В.А., Бестужева И.В., Чекалкин С.И. Усовершенствованная расчетная модель реактора СМ и результаты ее тестирования / Годовой отчет: Сб. ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР». – Дмитровград, 2004. – С. 17-19.
6. Бестужева И.В., Старков В.А., Чекалкин С.И., Чертков Ю.Б. Исследование распределения энерговыделения в модернизированной активной зоне реактора СМ / Годовой отчет: Сб. ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР». – Дмитровград, 2002. – С. 15-17.

Поступила в редакцию 8.04.2010

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