

УДК 621.039.55

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА МИР.М1 ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ТИПА LOSA

© 2020 г. Д. В. Фомин^{1,2,*}, А. П. Малков^{1,2}, А. М. Шараев^{1,2}, П. А. Зайченко^{1,2}

¹ Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ", Димитровград, 433511, Россия

² Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов, Димитровград, 433510, Россия

*e-mail: dvfomin@niir.ru, fomindv85@gmail.com

Поступила в редакцию 26.10.2019 г.

После доработки 05.03.2020 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

В статье приводится информация об особенностях формирования загрузки активной зоны реактора МИР.М1 при подготовке к проведению экспериментов по исследованию поведения твэлов водоохлаждаемых реакторов в условиях аварий с потерей теплоносителя. Коротко представлена информация об основных конструктивных и физических особенностях реактора, основных направлениях его использования. Показано, что подготовка однотипных экспериментов с одинаковыми исходными требованиями к обеспечению условий испытаний в активной зоне реактора МИР.М1 представляет собой сложную задачу, зависящую от начальных условий по загрузке рабочих и петлевых каналов, отравлению бериллиевых блоков активной зоны. Для успешной реализации экспериментов необходим комплексный учет множества факторов, обусловленных как конструктивными, так и эксплуатационными особенностями реактора. При этом конечное состояние реактора на начало эксперимента и при достижении целевых параметров облучательного устройства в петлевом канале может быть совершенно различным. Приведены подходы к формированию загрузки активной зоны реактора, которые позволили обеспечить безопасное проведение сложных динамических экспериментов, моделирующих аварийные режимы работы испытываемых твэлов АЭС, а также некоторые результаты упомянутых экспериментов, важные с точки зрения изложения материала.

Ключевые слова: исследовательский реактор, эксперимент, формирование загрузки активной зоны

DOI: 10.1134/S2304487X20020030

ВВЕДЕНИЕ

Материаловедческий исследовательский реактор МИР.М1 является уникальной многоцелевой установкой, на которой проводятся испытания конструкционных, топливных и поглощающих материалов, используемых и предполагаемых к применению в атомной отрасли [1].

За последние два десятилетия тематика экспериментальных работ, выполняемых на реакторе МИР.М1, значительно расширилась. Кроме традиционных ресурсных испытаний твэлов и ТВС реакторов различного назначения большую долю в тематике проводимых исследований занимают динамические испытания по таким направлениям, как:

– эксперименты по моделированию для испытываемых твэлов условий, характерных для аварийных ситуаций с резким увеличением мощно-

сти и/или быстрым вводом положительной реактивности;

– эксперименты по моделированию условий, характерных для аварийных ситуаций с потерей теплоносителя;

– испытания твэлов в циклических режимах изменения мощности.

Ввиду конструктивных и эксплуатационных особенностей реактора МИР.М1, планирование загрузки активной зоны на очередную кампанию представляет собой нетривиальную задачу. С учетом меняющегося набора экспериментальных устройств и изменения физических характеристик активной зоны в процессе эксплуатации при одинаковых требованиях к условиям проведения экспериментов заданные параметры его проведения достигаются при разных режимах работы реактора.

На исследовательском реакторе МИР.М1 были спланированы и успешно проведены экспери-

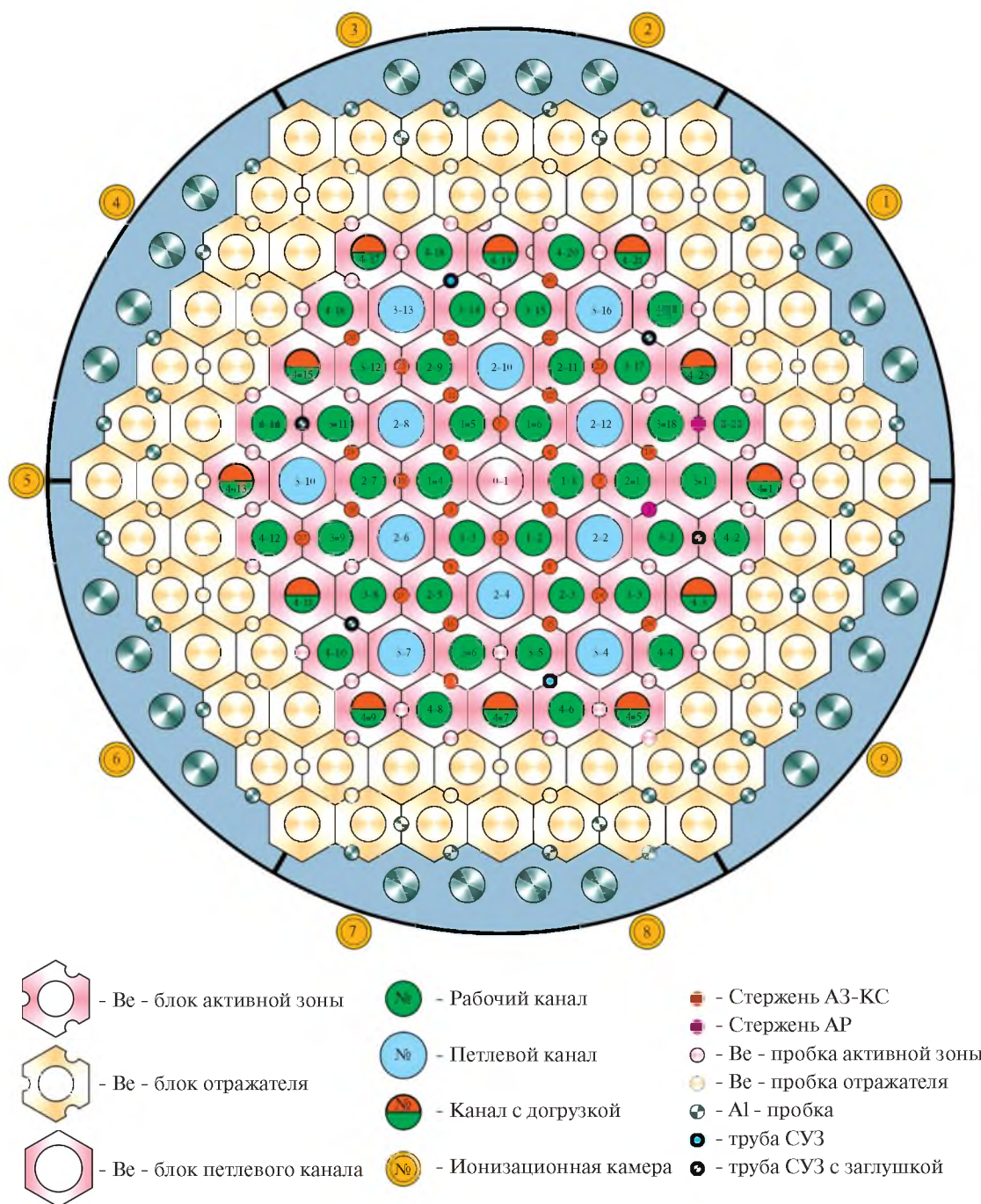


Рис. 1. Картограмма активной зоны реактора МИР.М1.

менты, целью которых было исследование поведения твэлов ВВЭР-1000 новой конструкции (с утоненной оболочкой без центрального отверстия в топливном сердечнике) с выгоранием более 50 МВт сут/кгU (эксперимент МИР-LOCA/50 [2–5]) и с выгоранием более 60 МВт сут/кгU (эксперимент МИР-LOCA/60 [2–5]) в условиях проектной аварии с потерей теплоносителя (LOCA). На примере двух однотипных экспериментов показаны основные подходы, используемые при

формировании загрузки активной зоны реактора МИР.М1 для достижения требуемых условий испытаний.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА МИР.М1

Картограмма активной зоны реактора МИР.М1 представлена на рис. 1. Активная зона набирается в кладке из шестигранных бериллиевых блоков.

По оси первых четырех рядов кладки выполнены отверстия для установки каналов с рабочими и петлевыми ТВС. Два внешних ряда кладки выполняют функции отражателя. Расположение петлевых ячеек в активной зоне фиксировано и принято таким, чтобы каждая из них была окружена шестью каналами с рабочими ТВС для обеспечения возможности реализации различных условий испытания экспериментальных ТВС по мощности.

В активной зоне размещено 30 поглощающих рабочих органов (РО) СУЗ. Из них два используются для автоматического регулирования мощности реактора (РО АР), а 28 выполняют функции компенсирующих органов и аварийной защиты (РО АЗ-КС). Схема управления обеспечивает возможность выбора любых шести стержней из 28 в качестве рабочих органов аварийной защиты. Для компенсации реактивности используются также каналы с догрузкой (КД), которые расположены в центральных отверстиях бериллиевых блоков периферийного ряда кладки активной зоны. КД представляет собой штатную ТВС, соединенную с расположенным над ней поглотителем (кадмий, очехлованный нержавеющей сталью). В крайнем нижнем положении ТВС находится под активной зоной, а в зоне находится поглотитель. При извлечении КД в активную зону вводится топливная сборка, а поглотитель перемещается в пространство над зоной.

В активную зону устанавливается до пятидесяти двух штатных ТВС. Реактор эксплуатируется в режиме частичных перегрузок активной зоны. Среднее выгорание ^{235}U в штатных топливных сборках составляет на начало кампании 15–30%, а в выгружаемых ТВС ~ 40–50% (максимальное выгорание до 60%). Во время одной перегрузки в активную зону загружается до 15 “свежих” ТВС. При этом неравномерность распределения ^{235}U по сечению активной зоны может быть очень большой, поскольку размещение “свежих” ТВС определяется необходимостью формирования требуемых мощностных параметров в петлевых каналах.

Большое количество органов регулирования, применяемый режим частичных перегрузок топлива позволяют создать и поддерживать в каждом петлевом канале требуемые условия облучения по мощности и плотности потока нейтронов.

Петлевые ТВС охлаждает теплоноситель, циркулирующий по автономным контурам-петлям. Вид и параметры теплоносителя в каждой петле определяются задачами экспериментов. Канальная компоновка реактора обеспечивает возможность контроля температуры теплоносителя на входе и выходе каждого канала, а также регулирования его расхода.

Вода бассейна реактора выполняет функции верхнего и нижнего торцевых отражателей активной зоны, биологической защиты реактора и теплоносителя для охлаждения бериллиевой кладки.

Шаг решетки рабочих каналов 150 мм, выбранный из конструктивных соображений (необходимость размещения петлевых каналов в активной зоне, а также подводящих и отводящих теплоноситель трубопроводов над ней), превышает оптимальный для ячейки, замедлителем в которой выступают бериллий и вода. Формирование теплового спектра нейтронов происходит уже в объеме рабочей ячейки, а вода за ее границами, с точки зрения замедления, избыточна [6, 7]. Это приводит к тому, что изменение плотности воды в различных контурах охлаждения элементов активной зоны сложным образом влияет на реактивность. Удаление воды из рабочей ячейки дает отрицательный эффект реактивности, а из зазоров кладки — положительный. В силу тех же причин при уменьшении плотности теплоносителя в охлаждаемых водой петлевых каналах также наблюдается положительный эффект реактивности. Это утверждение справедливо для всех типов петлевых ТВС, испытываемых в настоящее время в реакторе.

Под воздействием нейтронного излучения в бериллиевой кладке активной зоны и отражателя реактора МИР.М1 происходят реакции, приводящие к накоплению в нем ядер ^3He , ^4He , ^3H , ^6Li [8–10]. Ядра ^6Li и ^3He обладают большим сечением захвата тепловых нейтронов — $940 \times 10^{-28} \text{ м}^{-2}$ и $5327 \times 10^{-28} \text{ м}^{-2}$, соответственно. Изменение в твердом замедлителе реактора концентраций поглотителя нейтронов влечет за собой изменение важнейших физических характеристик — запаса реактивности, эффективности органов СУЗ, эффектов реактивности и перераспределению энерговыделения в активной зоне. Эти изменения необходимо учитывать при длительной эксплуатации реактора, обеспечении его безопасности, планировании и реализации требуемых условий испытания в экспериментальных устройствах с учетом того, что накопление ядер поглотителей в бериллии неоднородно.

Еще одной особенностью проведения испытаний в реакторе МИР является то, что, как правило, одновременно проводятся облучения нескольких экспериментальных устройств, мощности которых могут существенно отличаться. Поэтому существует проблема согласования и поддержания в процессе кампании реактора режимов испытаний различных экспериментальных устройств.

Описанные конструктивные и эксплуатационные особенности реактора во многом определяют его физические характеристики.

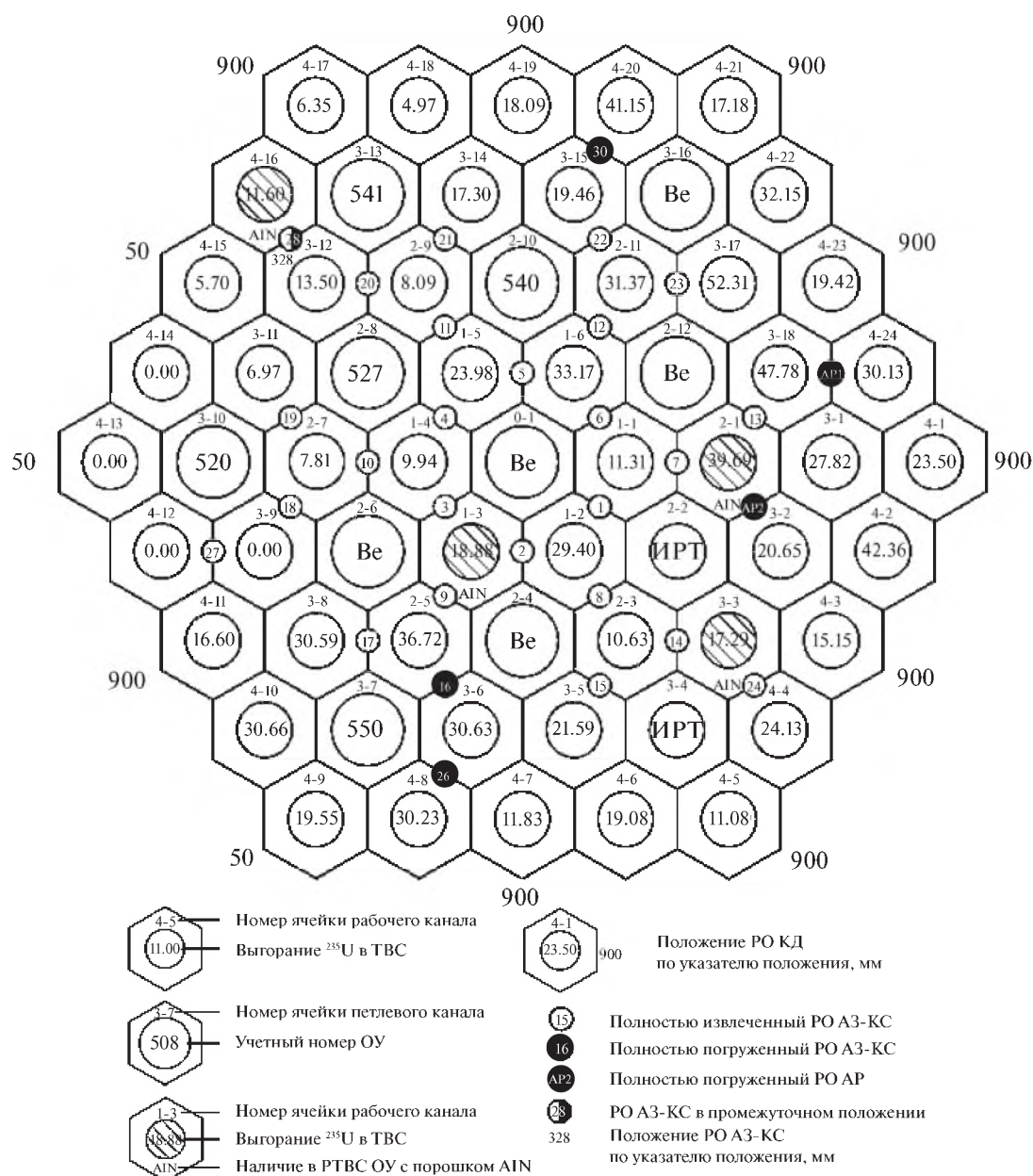


Рис. 2. Картограмма загрузки активной зоны реактора МИР.М1, сформированная для эксперимента МИР-ЛОСА/50, и положение РО СУЗ в критическом состоянии.

Наличие большого количества факторов, таких как:

- значительное превышение количества топлива в активной зоне по сравнению с минимальной критической загрузкой и, вследствие этого, возможность создания в активной зоне компактных областей, параметры которых близки к критическим;
- значительное влияние экспериментальных устройств, располагаемых непосредственно в ак-

тивной зоне, и режимов их испытаний на физические характеристики реактора;

- значительную неравномерность распределения топлива в активной зоне, вследствие эксплуатации реактора в режиме частичных перегрузок топлива;
- избыточное количество замедлителя в активной зоне, вследствие чего изменение плотности воды сложным образом влияет на реактивность;

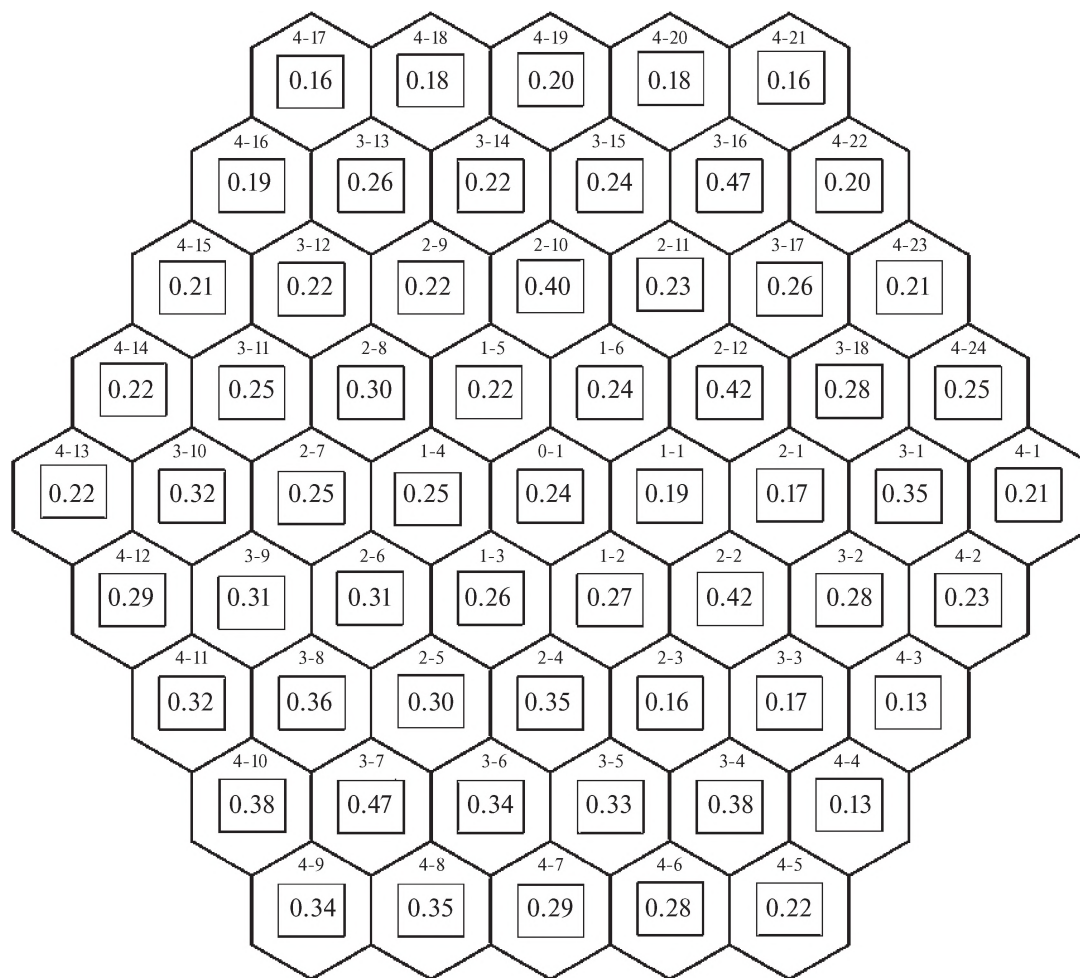


Рис. 3. Картограмма отравления бериллиевых блоков активной зоны реактора МИР.М1, рассчитанная на начало эксперимента МИР-ЛОСА/50.

— одновременное испытание в реакторе нескольких экспериментальных устройств, которые могут значительно отличаться друг от друга по конструкции, режиму облучения, среде заполнения петлевого канала;

— большое количество органов СУЗ различного назначения и конструкции;

— неравномерность энерговыделения в активной зоне, определяемая задачами экспериментальных исследований;

— ядерные реакции в бериллии, приводящие к накоплению нуклидов с большим сечением поглощения нейтронов (^6Li , ^3He), приводит к тому, что нейтронно-физические характеристики активной зоны изменяются в широких пределах в зависимости от ее компоновки и режимов работы реактора.

Перед каждым новым типом испытаний в реакторе проводят детальные исследования влияния экспериментальных устройств и режимов их испытания на нейтронно-физические характери-

стики реактора. Исследования проводят как расчетным путем, так и в экспериментах на критической сборке — физической модели реактора. По их результатам определяют компоновку активной зоны, положение органов регулирования и режимы регулирования мощности, обеспечивающие безопасное проведение испытаний. Рабочая программа любого эксперимента содержит раздел “Обеспечение безопасности”, который регламентирует технические и организационные меры, необходимые для безопасного проведения работ.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАГРУЗКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА МИР.М1 ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ МИР-ЛОСА/50 И МИР-ЛОСА/60

Планирование загрузки таких сложных разнотипных систем, как активная зона реактора МИР.М1, предполагает учет характера зависимо-

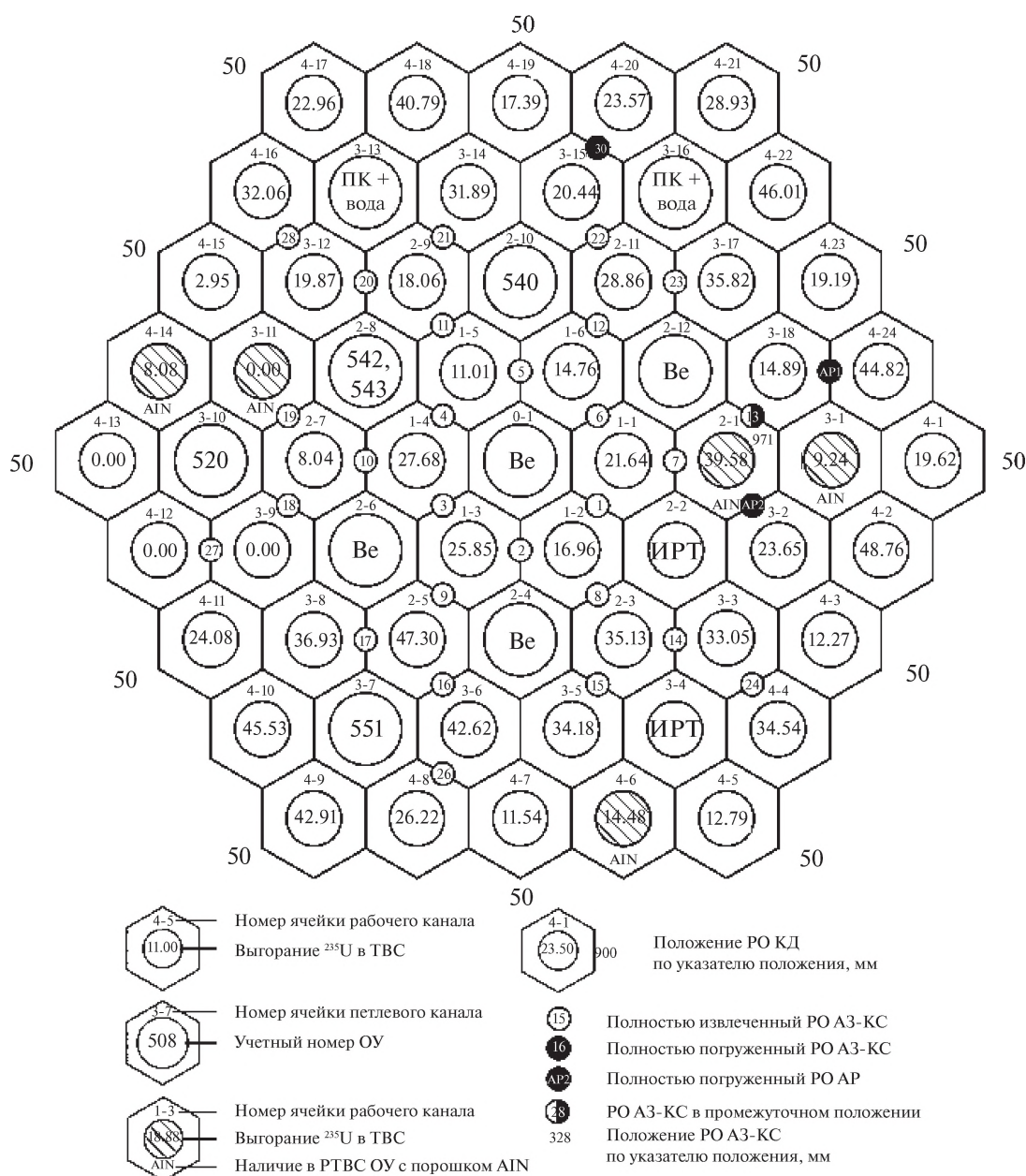


Рис. 4. Картограмма загрузки активной зоны реактора МИР.М1, сформированная для эксперимента МИР-ЛОСА/60, и положение РО СУЗ в критическом состоянии.

стей нейтронно-физических характеристик, эксплуатационных и технологических особенностей реактора, экономических аспектов, связанных с топливной составляющей затрат на эксплуатацию, опыт проведения экспериментальных исследований, аналогичных запланированным, особенностей сценарного плана проведения эксперимента.

Таким образом, с учетом вышесказанного основные задачи при формировании загрузки активной зоны реактора для успешного проведения

рассматриваемых LOCA-экспериментов были сформулированы следующим образом:

- обеспечение минимальной неравномерности аксиального распределения энерговыделения (ближайшие РО АЗ-КС должны находиться в крайних положениях — либо верхнем, либо нижнем);

- обеспечение необходимой скорости разогрева испытуемого твэла;

- создание условий для включения в работу системы автоматического регулирования мощно-

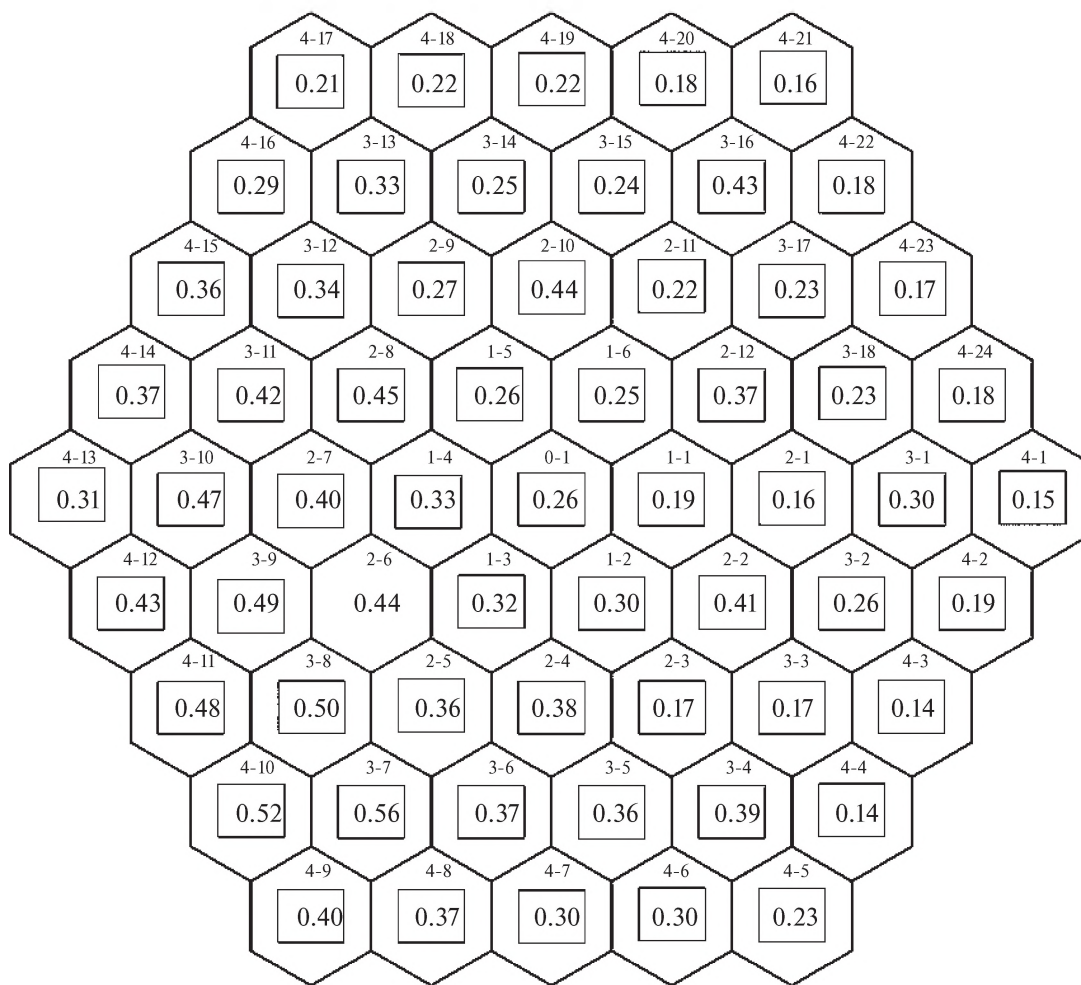


Рис. 5. Картограмма отравления бериллиевых блоков активной зоны реактора МИР-М1, рассчитанная на начало эксперимента МИР-ЛОКА/60.

сти на минимально возможном уровне мощности реактора;

- обеспечение непревышения предельных характеристик по мощности и температуре теплоносителя в других петлевых каналах во время выполнения эксперимента;
- обеспечение запаса реактивности, достаточного для выполнения эксперимента;
- минимизация временных и трудовых затрат при перегрузке активной зоны;
- использование минимального количества “свежих” ТВС.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ

На основании опыта проведения предыдущих экспериментов, результатов исследований на критической сборке – физической модели реактора – и с учетом вышеназванных условий для эксперимента МИР-ЛОКА/50 была сформирована

компоновка активной зоны, представленная на рис. 2, сведения о накоплении ядер-поглотителей в бериллиевых блоках активной зоны представлены на рис. 3. Для эксперимента МИР-ЛОКА/60 аналогичная информация представлена на рис. 4 и 5.

Как видно из представленных рисунков, при подготовке проведения рассматриваемых экспериментов ответственный за формирование загрузки активной зоны персонал имел дело фактически с двумя различными компоновками, имеющими одинаковые геометрические параметры, но отличающимися материальным составом активной зоны и загрузкой петлевых ячеек реактора. При этом общим для обоих экспериментов было условие проведения испытаний в петлевом канале яч. 3–7 активной зоны.

Необходимую скорость равномерного разогрева твэла предполагалось обеспечить в режиме автоматического регулирования на минимальном уровне мощности реактора. Для этого в районе яч. 3–10 была сформирована локальная область, в

Таблица 1. Эффективность органов СУЗ в заданной компоновке активной зоны реактора

Рабочий орган	Номер	Эффективность, $\beta_{\text{эфф}}$ МИР-ЛОСА/50	Эффективность, $\beta_{\text{эфф}}$ МИР-ЛОСА/60
КС	1	0.49 ± 0.03	0.56 ± 0.04
	2	0.66 ± 0.05	0.50 ± 0.04
	3	0.94 ± 0.07	0.50 ± 0.04
	4	0.94 ± 0.07	0.58 ± 0.04
	5	0.62 ± 0.04	0.66 ± 0.05
	6	0.45 ± 0.03	0.60 ± 0.04
АЗ	7	0.37 ± 0.03	0.50 ± 0.04
	8	0.41 ± 0.03	0.35 ± 0.02
	9	0.54 ± 0.04	0.32 ± 0.02
	10	0.97 ± 0.07	0.74 ± 0.05
	11	0.72 ± 0.05	0.89 ± 0.06
	12	0.36 ± 0.03	0.98 ± 0.07
КС	13	0.29 ± 0.02	1.01 ± 0.07
	14	0.10 ± 0.01	0.27 ± 0.02
	15	0.18 ± 0.01	0.26 ± 0.02
	16	0.58 ± 0.04	0.24 ± 0.02
	17	0.61 ± 0.04	0.30 ± 0.02
	18	0.99 ± 0.07	0.79 ± 0.06
	19	1.25 ± 0.09	0.71 ± 0.05
	20	0.83 ± 0.06	0.68 ± 0.05
	21	0.18 ± 0.01	0.72 ± 0.05
	22	0.17 ± 0.01	0.78 ± 0.05
	23	0.15 ± 0.01	0.83 ± 0.06
	24	0.08 ± 0.01	0.24 ± 0.02
	26	0.33 ± 0.02	0.11 ± 0.01
	27	0.68 ± 0.05	0.54 ± 0.04
	28	0.80 ± 0.06	0.57 ± 0.04
	30	0.09 ± 0.01	0.65 ± 0.05
КД	1	0.45 ± 0.05	1.45 ± 0.16
	2	1.12 ± 0.12	1.65 ± 0.18
	3	0.72 ± 0.08	0.34 ± 0.04
	4	1.02 ± 0.11	0.33 ± 0.04
	5	1.43 ± 0.16	0.16 ± 0.02
	6	2.29 ± 0.25	0.76 ± 0.08
	7	3.30 ± 0.36	0.96 ± 0.11
	8	3.41 ± 0.38	1.46 ± 0.16
	9	2.40 ± 0.26	0.81 ± 0.09
	10	0.99 ± 0.11	1.49 ± 0.16
	11	0.61 ± 0.07	0.88 ± 0.10
	12	0.67 ± 0.07	1.80 ± 0.20
АР	1	0.15 ± 0.01	0.61 ± 0.04
	2	0.28 ± 0.02	0.60 ± 0.04
Запас реактивности, $\beta_{\text{эфф}}$ (%)		11.6 (7.5)	2.5 (1.6)
Достигнутая мощность реактора, МВт		~1.9	~9.8

рабочие каналы которой были загружены ТВС с минимальным выгоранием ^{235}U . Такой подход позволяет включить автоматический регулятор мощности на пониженном уровне мощности при использовании в качестве источника сигнала в аппаратуре автоматического регулирования мощности СУЗ реактора МИР.М1 близлежащей ионизационной камеры (ИК), уровень сигнала которой будет максимален и на порядки превышать уровни сигнала от других ИК. При этом наличие пустого петлевого канала в яч. 3–10 в исходной компоновке активной зоны значительно осложняло бы приведение в жизнь предыдущего утверждения, поскольку наличие большого объема излишней воды в петлевом канале привело бы к значительному поглощению нейтронов в указанном секторе активной зоны и, как следствие, снизило бы уровень сигнала от целевой ИК, а значит поставило бы под вопрос включение в работу авторегулятора при необходимых параметрах экспериментального твэла. Таким образом, было принято решение о загрузке в ПК 3–10 ОУ, содержащее твэлы типа ВВЭР-1000 со “свежим” топливом, для компенсации отрицательной реактивности вносимой избыточной водой.

Поскольку в реакторе МИР.М1 возможно создание локальных критических областей [11], которые фактически ведут себя как реактор в реакторе, решающий вклад в создание необходимых условий для проведения рассматриваемых экспериментов вносит загрузка рабочих каналов вокруг именно ПК 3–7 и 3–10. Кроме того, предполагаемый уровень максимально достигаемой мощности порядка 10 МВт и величина вносимых возмущений в активной зоне посредством органов регулирования не приводят к значительному росту параметров, контролируемых при облучении изделий в остальных петлевых ячейках. Таким образом, ячейки, окружающие ПК 3–7, было решено загрузить ТВС со средним выгоранием топлива $\approx 30\%$ для эксперимента МИР-ЛОСА/50 и $\approx 40\%$ для эксперимента МИР-ЛОСА/60 для обеспечения отличия в средней мощности ТВС окружения яч. 3–10 и 3–7 в 4–6 раз, что по оценкам позволило бы создать условия, соответствующие вышеуказанным утверждениям. При этом загрузку остальных рабочих каналов оставили неизменной, что в том числе способствовало снижению временных и трудовых затрат при перегрузке.

Достигнутые положения органов СУЗ на минимально контролируемом уровне мощности представлены на рис. 2 и 4, а результаты градуировок приведены в табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подготовка и проведение экспериментов, имитирующих аварийные режимы эксплуатации топлива, в таком уникальном реакторе, как

МИР.М1, требует учета значительного количества факторов: эксплуатационных, экономических и нейтронно-физических, — при безусловном обеспечении ядерной безопасности при принятии решений на всех этапах. Показано, что подготовка казалось бы однотипных экспериментов с одинаковыми исходными требованиями к обеспечению условий испытаний в активной зоне реактора МИР.М1 представляет собой сложную задачу с многими переменными, зависящую от начальных условий по загрузке рабочих и петлевых каналов, отравлению бериллиевой кладки активной зоны. При этом конечное состояние реактора на начало эксперимента и при достижении целевых параметров ОУ в ПК может быть совершенно различным. Так, запас реактивности по результатам градуировок и достигнутые значения мощности реактора в конце рассматриваемых экспериментов отличаются в разы. Приведенные подходы к формированию загрузки активной зоны реактора позволили обеспечить безопасное проведение сложных динамических экспериментов, моделирующих аварийные режимы работы испытуемых твэлов АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследовательские ядерные установки России / Под ред. Н.В. Архангельского, И.Т. Третьякова, В.Н. Федulina. М.: ОАО “НИКИЭТ”, 2012. 330 с.
2. Алексеев А.В., Дреганов О.И., Шулимов В.Н. и др. Изучение поведения твэлов ВВЭР-1000 в условиях аварии с потерей теплоносителя (LOCA) / Сборник трудов АО “ГНЦ НИИАР”. Димитровград: АО “ГНЦ НИИАР”, 2017. Вып. 1. С. 12–20. ISBN 978-5-94831-154-8.
3. Алексеев А.В., Горячев А.В., Дреганов О.И. и др. Результаты испытания в реакторе МИР твэлов ВВЭР-1000 с высоким выгоранием топлива в условиях аварии с потерей теплоносителя / Атомная энергия. 2017. Т. 123. Вып. 3. С. 133–137.
4. Алексеев А.В., Дреганов О.И., Шулимов В.Н. и др. Изучение поведения твэлов ВВЭР-1000 в условиях аварии с потерей теплоносителя (LOCA). Реакторные эксперименты МИР-LOCA/45 и МИР-LOCA/69 / Программа конференции и тезисы докладов научно-технической конференции АО “ТВЭЛ” “Ядерное топливо нового поколения для АЭС. Результаты разработки, опыт эксплуатации и направления развития (НТК-2016)”, Москва, 16–17 ноября 2016 г. М.: АО “ВНИИНМ имени ак. А.А. Бочвар”, 2016. С. 38.
5. Дреганов О.И. Изучение поведения твэлов ВВЭР-1000 с повышенной ураноемкостью в аварии с потерей теплоносителя при моделировании условий в реакторе МИР. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. [Текст] / О.И. Дреганов. Димитровград, 2017. 105 с.
6. Калыгин В.В., Малков А.П. Особенности обеспечения ядерной безопасности реактора МИР при эксплуатации. Сборник трудов АО “ГНЦ НИИАР”. 2017. № 2. С. 69–78.
7. Калыгин В.В., Малков А.П. Влияние методов формирования режимов облучения на значение эффекта реактивности при обеспоживании петлевых каналов реактора МИР. Сборник трудов НИИАР, 1996. Вып. 4.
8. Анисимков О.В., Калыгин В.В., Малков А.П., Пименов В.В. Влияние отравления бериллия на нейтронно-физические характеристики реактора МИР. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерная техника и технология. 1993. Вып. 1. С. 49–52.
9. Малков А.П., Пименов В.В., Калыгин В.В., Козыльков А.В. Ядерно-физические процессы в бериллии под облучением и их влияние на физические и технологические характеристики исследовательских реакторов. Сборник трудов АО “ГНЦ НИИАР”. 2016. № 1. С. 13–25.
10. Калыгин В.В., Малков А.П., Пименов В.В. Влияние накопления ^3He и ^6Li в бериллиевых блоках на нейтронно-физические характеристики реактора МИР. Атомная энергия. 2008. Т. 104. Вып. 2. С. 84–88.
11. Ижуртов А.Л., Калыгин В.В., Малков А.П. Особенности формирования загрузки активной зоны реактора МИР. Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2010. № 4. С. 23–28.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta “MIFI”, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 100–109

Some Features of the Core Loading Formation for the MIR.M1 Research Reactor to Prepare LOCA Experiments

D. V. Fomin^{a,b,#}, A. P. Malkov^{a,b}, A. M. Sharaev^{a,b}, and P. A. Zaichenko^{a,b}

^a Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Dimitrovgrad, 433511 Russia

^b State Scientific Center “Research Institute of Atomic Reactors”, Dimitrovgrad, 433510 Russia

[#]e-mail: dvfomin@niiar.ru, fomindv85@gmail.com

Received October 26, 2019; revised March 5, 2020; accepted March 10, 2020

Abstract—Some features of the core loading formation for the MIR.M1 research reactor during preparation of experiments to study the behavior of fuel rods for water-cooled reactors in accidents with loss of a coolant are discussed. The main structural and physical features of the reactor, as well as main directions of its use, are briefly presented. It has been shown that the preparation of the same type of experiments with the same initial requirements to ensure the test conditions in the MIR.M1 reactor core is a difficult task, depending on the initial conditions for loading the working and loop channels, poisoning of beryllium blocks of the core. For successful implementation of experiments, it is necessary to take into account numerous factors associated with both structural and operational features of the reactor. In this case, the final state of the reactor at the beginning of the experiment and upon reaching the target parameters of the test rig in a loop channel can be completely different. It has been shown that described approaches to the reactor core loading formation make it possible to safely conduct complex dynamic experiments simulating the emergency operation of the tested nuclear fuel rods. Some results of these experiments important for the discussed problem have been presented.

Keywords: research reactor, experiment, core loading formation

DOI: 10.1134/S2304487X20020030

REFERENCES

1. Issledovatelskie iadernye ustanovki Rossii [Russian nuclear research facilities] / Pod red. N.V. Arhangel'skogo, I.T. Tretiakova, V.N. Fedulina. M.: OAO "NIKIET", 2012. 330 p.
2. Alekseev A.V., Dreganov O.I., Shulimov V.N. [i dr.]. Izuchenie povedeniia tvelov VVER-1000 v usloviakh avarii s poterei teplonositel'ia (LOCA) [Study of the behavior of VVER-1000 fuel rods in a loss of coolant accident (LOCA)] / Sbornik trudov AO "GNTC NIAR". Dimitrovgrad : AO "GNTC NIAR", 2017, vol. 1. — 12–20. p. ISBN 978-5-94831-154-8.
3. Alekseev A.V., Goriachev A.V., Dreganov O.I. [i dr.]. Rezultaty ispytaniia v reaktore MIR tvelov VVER-1000 s vysokim vygoraniem topliva v usloviakh avarii s poterei teplonositel'ia [Results of VVER-1000 fuel rods with high fuel burnout testing in the reactor MIR in a loss of coolant accident] / Atomnaya energiya, T. 123, vol. 3. 2017. 133–137 p.
4. Alekseev A.V., Dreganov O.I., Shulimov V.N. [i dr.]. Izuchenie povedeniia tvelov VVER-1000 v usloviakh avarii s poterei teplonositel'ia (LOCA). Reaktornye eksperimenty MIR-LOCA/45 i MIR-LOCA/69 [Study of the behavior of VVER-1000 fuel rods in a loss of coolant accident (LOCA). MIR-LOCA/45 and MIR-LOCA/69 reactor experiments] / Programma konferentsii i tezisov dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii AO "TVEL" "Iadernoe toplivo novogo pokoleniia dlia AES. Rezultaty razrabotki, opyt ekspluatatsii i napravleniia razvitiia (NTK-2016)", Moskva, 16–17 noiabria 2016 — M.: AO "VNIINM imeni ak. A.A. Bochvara", 2016. 38 p.
5. Dreganov O.I. Izuchenie povedeniia tvelov VVER-1000 s povyshennoi uranovoi kapacitiei v avarii s poterei teplonositel'ia pri modelirovanii uslovii v reaktore MIR [Study of the behavior of VVER-1000 fuel rods with increased uranium capacity in a loss of coolant accident in the simulation of conditions in the MIR reactor]. Dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Tekst] / O.I. Dreganov. Dimitrovgrad, 2017. 105 p.
6. Kalygin V.V., Malkov A.P. Osobennosti obespecheniia iadernoi bezopasnosti reaktora MIR pri ekspluatatsii [Specificity of the MIR reactor nuclear safety during operation.]. Sbornik trudov AO "GNTC NIAR". 2017. № 2. 69–78 p.
7. Kalygin V.V., Malkov A.P. Vliianie metodov formirovaniia rezhimov oblucheniia na znachenie effekta reaktivnosti pri obezvozhivaniia petlevykh kanalov reaktora MIR [Influence of irradiation regimes formation methods on the value of the reactivity effect during dehydration of the reactor loop channels]. Sbornik trudov NIAR, 1996, vol. 4.
8. Anisimkov O.V., Kalygin V.V., Malkov A.P., Pimenov V.V. Vliianie otravleniia berillii na neitronno-fizicheskie harakteristiki reaktora MIR [Effect of beryllium poisoning on the MIR reactor neutronic parameters]. Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Ser. Iadernaya tekhnika i tekhnologiya, 1993, vol. 1, 49–52 p.
9. Malkov A.P., Pimenov V.V., Kalygin V.V., Kozylkov A.V. Iaderno-fizicheskie protsessy v berillii pod oblucheniem i ikh vliianie na fizicheskie i tekhnologicheskie harakteristiki issledovatel'skikh reaktorov [Nuclear processes in beryllium under irradiation and their effect on physical and technological characteristics of research reactors]. Sbornik trudov AO "GNTC NIAR". 2016. № 1. 13–25 p.
10. Kalygin V.V., Malkov A.P., Pimenov V.V. Vliianie nakopleniia ^3He i ^6Li v berillievyykh blokakh na neitronno-fizicheskie harakteristiki reaktora MIR [Effect of ^3He and ^6Li accumulation in beryllium blocks on the MIR reactor neutronic parameters]. Atomnaya energiya, T. 104, vol. 2. 2008. 84–88 p.
11. Izhutov A.L., Kalygin V.V., Malkov A.P. Osobennosti formirovaniia zagruzki aktivnoi zony reaktora MIR [Specificities of the MIR reactor core loading formation]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Iadernaya energetika. 2010. № 4. 23–28 p.