

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
Филиал «Институт атомной энергии»
(Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК)

УДК 621.039.5

Жагипарова Ляйля Калыковна

Техническое сопровождение нейтронно-физической модели реактора ИВГ.1М

Работа, представленная на конференцию-конкурс НИОКР
молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан

(прикладные исследования)

Руководитель: Иркимбеков Р.А.,
Начальник лаборатории исследований
теплофизических и нейтронно-физических
характеристик облучательных устройств,
д. ф.-м. наук, профессор,
Филиал ИАЭ НЯЦ РК

г. Курчатов, 2020 г.

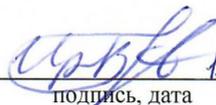
АВТОР

Жагипарова Ляйля Калыковна

Инженер 1 категории лаборатории испытаний реакторного топлива
Филиала «Институт атомной энергии» РГП «НЯЦ РК»,
1984 года рождения,
образование высшее (окончил СГУ имени Шакарима в 2008 году),
специальность – «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
квалификация по диплому – специалист,
работает в Филиале «ИАЭ» РГП «НЯЦ РК» с 2008 г.,
общий стаж работы – 11,5 лет.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Начальник лаборатории
исследований теплофизических
и нейтронно-физических
характеристик облучательных
устройств


подпись, дата

13.04.2020 Р.А. Иркимбеков

Инженер 1 категории
лаборатории испытаний
реакторного топлива


подпись, дата

13.04.2020 Л.К. Жагипарова

ЖАГИПАРОВА Л.К.

Техническое сопровождение нейтронно-физической модели реактора ИВГ.1М

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан
от Филиала «ИАЭ» РГП «НЯЦ РК»

071100, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 10,
тел. (7-722-51) 3-31-25, (9)3-81 (вн.)
факс (7-722-51) 3-31-25
e-mail: sholakova@nnc.kz

РЕФЕРАТ

Конкурсная работа содержит 14 страниц, 6 рисунков, 3 таблицы, 10 источников, 1 приложение.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР, НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МОДЕЛЬ, КРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, РЕАКТИВНОСТЬ, ТОПЛИВО, БЕРИЛЛИЙ

Актуальность: Одним из актуальных вопросов при проведении испытаний на ядерных реакторах является моделирование процессов. Для решения вопросов связанных с исследованием нейтронно-физических параметров взаимодействия реактора и экспериментального устройства необходимо иметь модель реактора, которая достоверно описывает геометрию и материальную композицию активной зоны.

Объектом исследования: нейтронно-физические процессы, происходящие в исследовательском реакторе ИВГ.1М.

Цель работы: поддержание модели реактора ИВГ.1М в актуальном состоянии.

Задачи исследований:

- описание нейтронно-физической модели реактора ИВГ.1М;
- исследование истории пусков реактора;
- верификация расчетной модели;
- перспективы использования.

Методика исследования: заключается в расчете нейтронно-физической модели реактора ИВГ.1М на основе метода Монте-Карло.

Результаты работы: имеется свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права под названием «Компьютерная модель реактора ИВГ.1М для стационарных нейтронно-физических расчетов», статья в журнале «Атомная энергия» индексируемая в SCOPUS. Также имеется 4 статьи в журнале вестник НЯЦ РК.

Научная новизна: созданную модель необходимо постоянно актуализировать, так как изменяется конфигурация реактора из-за перемещения или замены топлива, изменяется изотопный состав топлива и бериллиевых элементов.

Практическая ценность: В первую очередь модель реактора используется для обоснования конверсии реактора ИВГ.1М, оценки облучения и выгорания топлива и прогнозирования параметров реактора с низкообогащенным топливом. Также модель реактора ИВГ.1М используется для получения данных о нейтронном потоке и разогреве экспериментальных устройств, устанавливаемых в экспериментальный канал реактора.

Личный вклад автора: построение расчетной модели, обработка и анализ результатов.

Степень завершенности работы: на данный момент завершены все расчетные работы для приведения модели в актуальное состояние. Имеется несколько конфигураций активной зоны которые соответствуют моменту выгрузки двух каналов с НОУ топливом, моменту установки двух каналов со свежим ВОУ топливом и конфигурации, которые описывают состояние реактора до конца 2020 года при условии отсутствии пусков.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ИВГ.1М – исследовательский высокотемпературный газовый - модернизированный;
НОУ – низкообогащенный уран;
ВОТК – водоохлаждаемые технологические каналы;
РБ – регулирующие барабаны;
ТВС – тепловыделяющая сборка.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	6
1 Описание нейтронно-физической модели реактора ИВГ.1М	6
2 Исследование истории пусков реактора	8
3 Верификация расчетной модели.....	8
3.1 По критической конфигурации реактора на этапе физического пуска.....	8
3.2 Верификация ядерных реакций по выгоранию топлива	8
3.3 По критической конфигурации реактора с ВОТК-НОУ10.....	10
4 Перспективы использования.....	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	13

ВВЕДЕНИЕ

Исследовательский высокотемпературный газоохлаждаемый (модернизированный) реактор ИВГ.1М эксплуатируется Национальным ядерным центром Республики Казахстан (НЯЦ РК). В целях обеспечения эффективной эксплуатации реактора режимы его работы выбираются и обосновываются в процессе анализа, который осуществляется с использованием расчетной Монте-Карло модели реактора. В отличие от применявшихся ранее аналогов [1, 2, 3, 4], обсуждаемая в настоящей статье расчетная модель [5, 6] в деталях описывает конструкцию и материальный состав реактора на основе данных технического проекта реактора (ранееиспользовался упрощенный подход к описанию его конструкции, выразившийся в использовании приемов гомогенизации областей замедлителя, отражателя и поглотителя нейтронов).

Созданная расчетная модель была верифицирована по параметрам критических состояний реактора и может использоваться для оценки параметров реактора на протяжении его кампании, включая ее теоретические варианты с перспективным низкообогащенным урановым топливом (НОУ топливом) [7, 8].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРА ИВГ.1М

Расчетная модель реактора ИВГ.1М [5, 6] предназначена для оценки параметров реактора при различных вариантах компоновки его активной зоны и позволяет определять поток и спектр нейтронов, запас реактивности, параметры экспериментальных устройств, установленных в реактор и шлакование реактора в процессе эксплуатации. Расчеты проводятся с использованием расчетного кода MCNP5 [9] и библиотек ядерных констант ENDF/B-VII.0.

В расчетной модели гетерогенная активная зона представлена тридцатью водоохлаждаемыми технологическими каналами, установленными в трех рядах по концентрическим окружностям (Рисунок 1, поз. 1-3). В межканальном пространстве активной зоны установлены бериллиевые межканальные вытеснители (Рисунок 1, поз. 4), блоки (Рисунок 1, поз. 6), блочки трехгранные (Рисунок 1, поз. 7) и блоки трехгранные (Рисунок 1, поз. 8). В центральном бериллиевом вытеснителе (Рисунок 1, поз. 9) располагаются стержни компенсации реактивности (Рисунок 1, поз. 10). Активная зона окружена боковым бериллиевым вытеснителем (Рисунок 1, поз. 5). Вокруг активной зоны расположено три вида бериллиевых проставок (Рисунок 1, поз. 12) между регулируемыми барабанами (Рисунок 1, поз. 11).

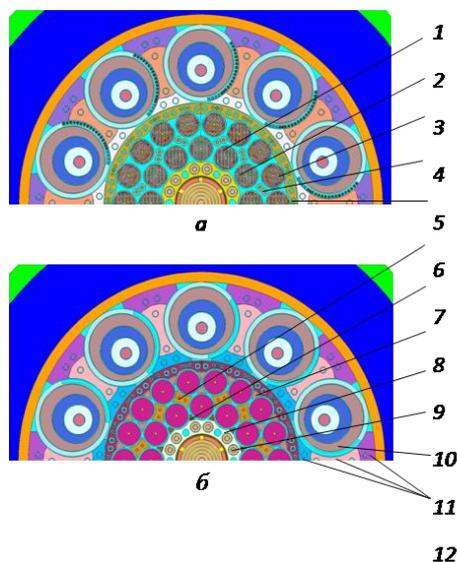
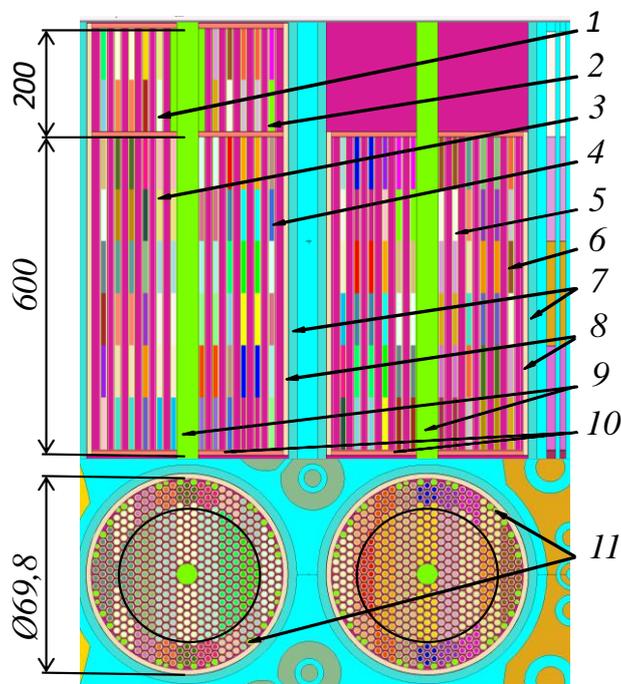


Рисунок 1 - Поперечное сечение активной зоны реактора ИВГ.1М в центре активной зоны (а) и на уровне «-420» мм от центра активной зоны (б)

Для моделирования выгорания топлива ТВЭЛы в ТВС водоохлаждаемых технологических каналах разбиты на группы с примерно одинаковой удельной мощностью – по 16 групп в сечении канала, каждая протяженностью 100 мм по высоте канала (Рисунок 2). Таким образом, каналы с длиной активной части 800 мм и 600 мм описываются 128 и 96 группами, соответственно. Все каналы, находящиеся примерно в одинаковых условиях, моделируются одними и теми же группами. Таким образом, все топливо активной зоны описывается 224 группами, из которых 128 относятся к каналам первого и второго рядов, 96 – к каналам третьего ряда.



1 и 3, 2 и 4 – ТВЭЛ первого/второго ряда центральной и периферийной зоны с длиной активной части 600 и 200 мм соответственно; 5, 6 – ТВЭЛ третьего ряда центральной и периферийной зоны с длиной активной части 600 мм; 7 – корпус; 8 – оболочка; 9 – стержень; 10 – торцевая решетка; 11 – наполнитель

Рисунок 2 - Модель водоохлаждающего технологического канала:

В расчетной модели реактора учтен тот факт, что до 1990 года бериллиевые блоки уже были подвержены облучению. Всего в период с 1960 по 1990 год интегральное энерговыделение в реакторе составило 470 МВт·ч. В результате этого в бериллиевых блоках активной зоны накопились изотопы ^6Li и ^3He , снижающие запас реактивности реактора ИВГ.1М. Количество этих изотопов зависит от местоположения и размеров блока. Для оценки отравления бериллия литием, все бериллиевые детали активной зоны и отражателя разбиты на 67 групп таким образом, что элементы одной группы находятся в приблизительно одинаковых условиях облучения. Параметры отравления бериллия к 1990 году рассчитаны с использованием программы MCNP6 [10], позволяющей оценивать изменение изотопного состава реакторных материалов. Расчеты показали, что отравление бериллия снижает запас реактивности реактора на $\sim 0,1 \beta_{\text{эфф}}$.

Расчетная модель обеспечивает возможность позиционирования РБ с целью моделирования конкретного состояния реактора. Положение 0° соответствует развороту поглощающей части РБ к активной зоне реактора.

В центральную полость реактора ИВГ.1М, в зависимости от условий экспериментов, устанавливается одна из двух предназначенных для этого бериллиевыхборок, описанных в расчетной модели.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОРИИ ПУСКОВ РЕАКТОРА

В 1990 г. была проведена серия пусков ИВГ.1М со свежим высокообогащенным топливом. Были реализованы разные критические состояния реактора, измерена эффективность регулирующих барабанов, запас реактивности и распределение мощности по высоте каналов. Проведено моделирование и обработаны более 350 пусков ИВГ.1М с 1990 г по 2019 г.

ЗВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

3.1. По критической конфигурации реактора на этапе физического пуска

С помощью разработанной модели ИВГ.1М были рассчитаны реализованные критические состояния для сравнения с экспериментальными данными.

В приложении 1 (таблица 1) приведены состояния активной зоны реактора, по которым проведена верификация модели.

Расчетная эффективность системы регулирующих барабанов для конфигурации 1 – 3 составила $11,75 \pm 0,04$ бэф, для конфигурации 4 – 6 составила $11,21 \pm 0,04$ бэф, для конфигурации 7 – 9 составила $11,01 \pm 0,04$ бэф. Экспериментальная эффективность регулирующих барабанов – $11,3 \pm 0,3$ бэф. Измеренное значение эффективной доли запаздывающих нейтронов $\beta_{эф} = 0,0073$.

Расчетное и экспериментальное высотное распределение мощности в каналах реактора конфигурации 7, приведено в приложении 1 (таблица 2). Погрешность измерений составляет $\pm 5\%$, статистическая погрешность расчетов $\pm 1,5\%$. Максимальное отклонение расчетного коэффициента размножения для критических конфигураций реактора 1, 4, 7 составляет 0,36 бэф.

3.2. Верификация ядерных реакций по выгоранию топлива

Отравление реактора, выгорание топлива и наработку продуктов реакции нейтронов с бериллием рассчитаны по программе MCNP6. Обработаны данные более 200 пусков, проведенных в 1990 – 2016 гг (рисунок 3). Интегральное энерговыделение в реакторе за этот период составило 1587 МВт·ч. Так же обработаны данные пусков, проведенных в 2016 – 2019 гг, интегральное энерговыделение составило 714,4 МВт·ч. В июле 2019 г была произведена замена бериллиевой сборки с каналом для проведения экспериментов на бериллиевую сборку без канала для повышения запаса реактивности. Интегральное энерговыделение с июля 2019 г по ноябрь 2019 г составило 415 МВт·ч. На рисунке 4 приведены данные каждого пуска с декабря 2016 г по ноябрь 2019 г.

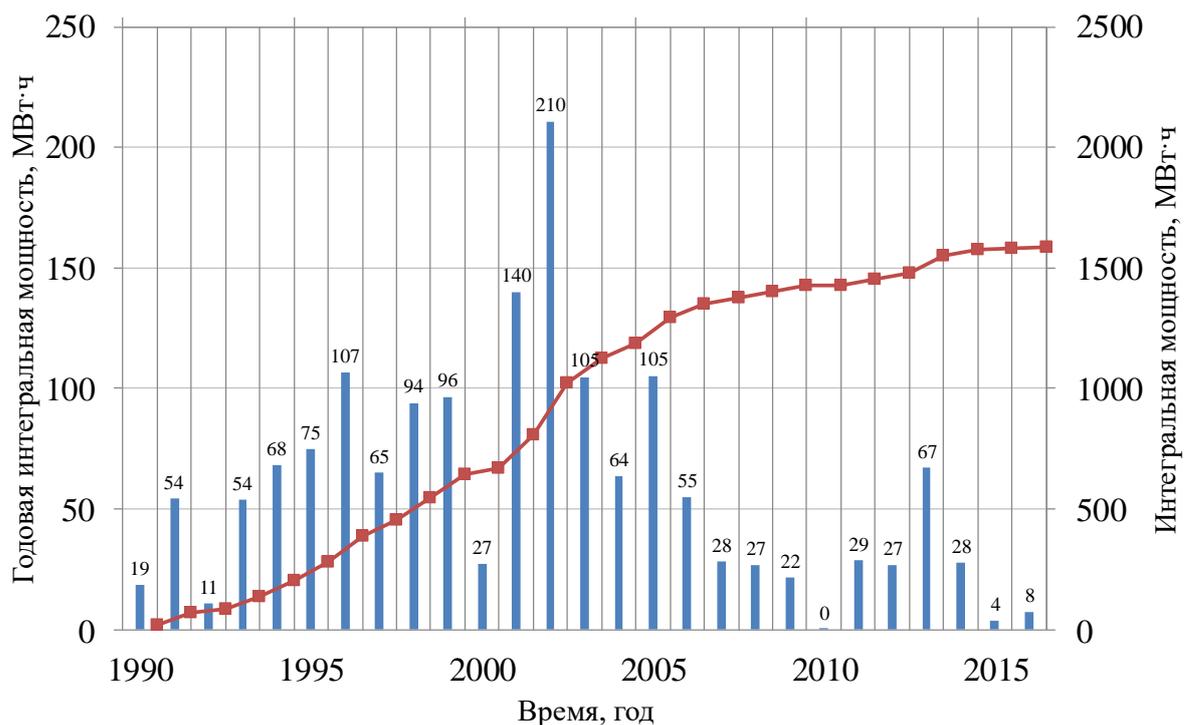


Рисунок 3 – Количество выработанной энергии в течение кампании топлива с 1990 г по 2016 г

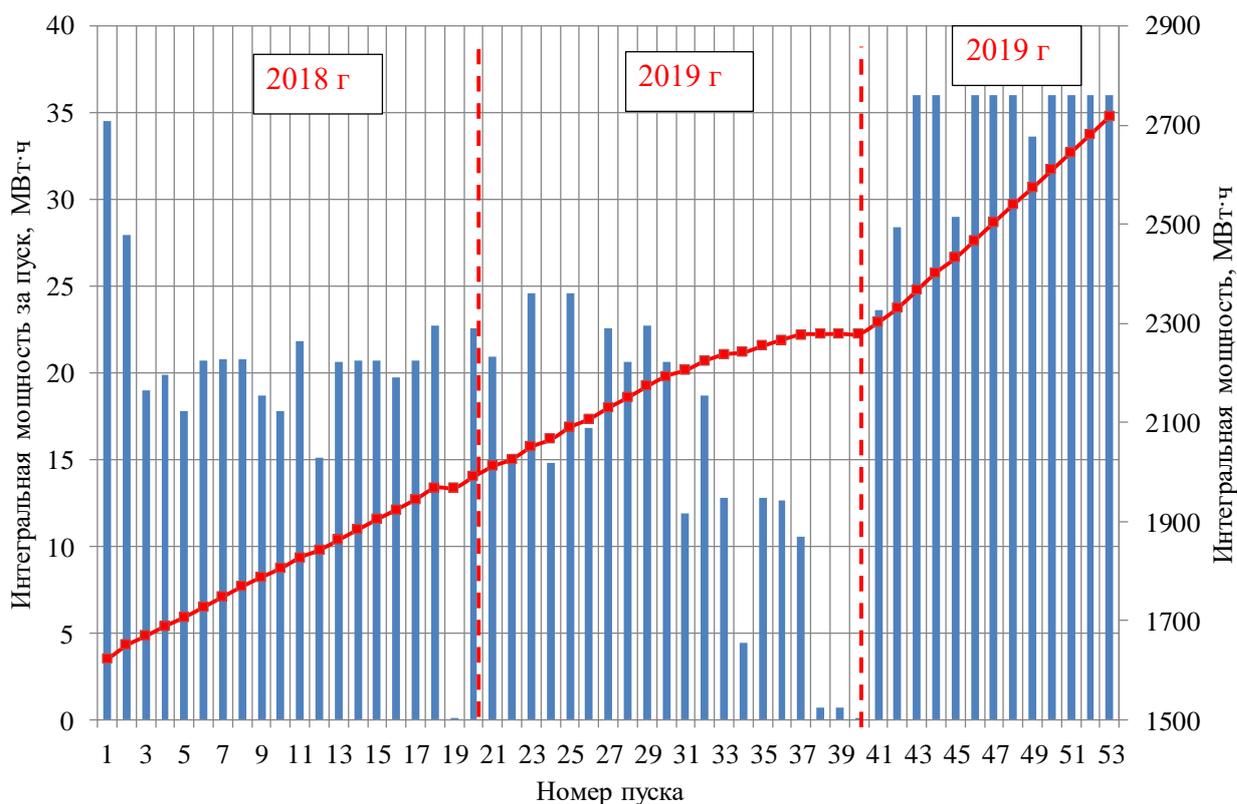


Рисунок 4 – Количество выработанной энергии в течение кампании топлива с декабря 2016 г по ноябрь 2019 г

Для расчета выгорания все пуски, выполненные в течение календарного года до 2016 года, были приведены к одному эквивалентному. Длительность такого пуска соответствует суммарной длительности пусков мощностью более 1 кВт. Мощность эквивалентного пуска равна отношению

интегрального энерговыделения в реакторе за данный год к длительности пуска. После установки двух ВОТК с низкообогащенным топливом моделирование проводилось для каждого пуска в соответствии с графиком пусков.

В расчетах принято, что регулирующие барабаны находятся в положении 180° (разворот поглощающей части от активной зоны реактора), в центральный канал загружена бериллиевая сборка с полостью для размещения в реакторе экспериментальных устройств (конфигурация 10).

Расчетные оценки показали, что за время эксплуатации реактора с 1990 – 2016 г выгорание ^{235}U составило 88 ± 1 гр. Концентрация $^{149,151}\text{Sm}$ близка к стационарной. Остальные продукты деления и распада, снижающие реактивность реактора, накапливаются пропорционально интегральной мощности. Основной вклад в снижение запаса реактивности вносит накопление ^{149}Sm и выгорание урана. Статистическая погрешность расчета количества продуктов деления и распада, влияющих на реактивность реактора, не превышает $\pm 1\%$. На рисунке 5 показана временная зависимость снижения запаса реактивности реактора в течение всего срока эксплуатации. Расхождение расчетной и измеренной реактивности в конце кампании составляет $\sim 0,47$ бэф.

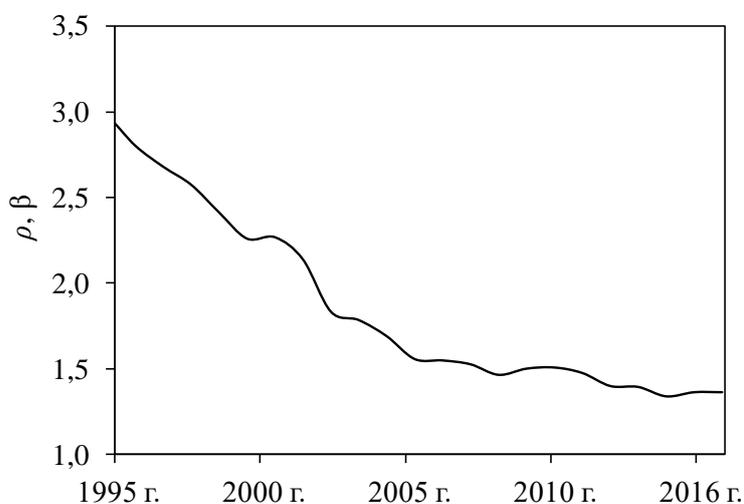
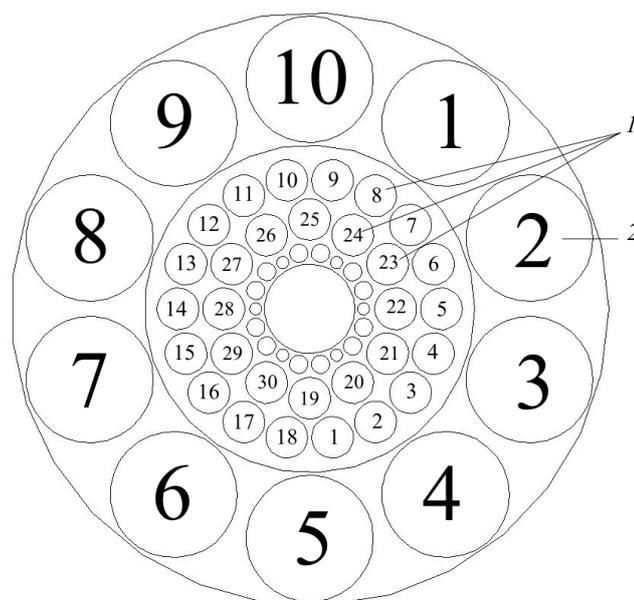


Рисунок 5 – Запас реактивности реактора ИВГ.1М

3.3. По критической конфигурации реактора с ВОТК-НОУ

При подготовке реактора ИВГ.1М к испытаниям в активную зону реактора в ячейки 14 и 24 (рисунок 6) были загружены каналы с низкообогащенным топливом. После замены каждого канала реактор был выведен в критическое состояние для измерения эффекта реактивности, обусловленного заменой каналов. Кроме этого, были выполнены исследования для оценки эффективности системы регулирующих барабанов.

Критическое состояние реактора, реализовано после загрузки каналов с топливом низкого обогащения и в процессе исследований эффективности регулирующих барабанов, было моделировано с помощью разработанной расчетной модели (конфигурации 18 – 34).



1 – водоохлаждаемые технологические каналы; 2 – регулирующие барабаны

Рисунок 6 – Расположение технологических каналов и регулирующих барабанов

Сравнение показывает:

- расчетная максимальная плотность потока тепловых нейтронов $2,44 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ на отметке 72 мм от центра активной зоны в центральном канале реактора при мощности реактора 1 МВт, соответствует экспериментальному $2,5 \cdot 10^{13} \pm 0,3 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ (конфигурация 17);
- расчетное изменение реактивности реактора при загрузке в активную зону двух сборок водоохлаждаемых технологических каналов с низкообогащенным топливом (конфигурация 11 – 17) согласуется с экспериментальным в пределах их погрешностей (Приложение 1, таблица 3);
- расчетная и экспериментальная эффективность системы регулирующих барабанов совпадает в пределах погрешности (Приложение 1, таблица 3);
- максимальное расхождение расчетной и экспериментальной реактивности для критических конфигураций составляет $-0,57 \beta_{\text{эф}}$ и $0,51 \beta_{\text{эф}}$ (конфигурации 18–34).

4 Перспективы использования

Разработанная нейтронно-физическая модель реактора ИВГ.1М на данный момент является наиболее точной и верифицированной, которая имеется в НЯЦ РК. В отличие от более ранней версии [5] в настоящей модели изменен изотопный состав топлива и бериллиевых элементов в соответствии с исследованиями эксплуатации реактора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены удовлетворительные результаты верификации разработанной Монте-Карло расчетной модели реактора ИВГ.1М со свежим топливом (по состоянию на 1990 год), с выгоревшим (по состоянию на 2017 год) и в современном состоянии с двумя тепловыделяющими сборками с НОУ топливом (по состоянию на 2019 год).

Относительно небольшое отклонение расчетных параметров реактора от экспериментально измеренных (реактивность, поток тепловых нейтронов, относительная мощность каналов) позволяет сделать заключение об удовлетворительной точности расчетного моделирования реактора и рекомендовать разработанную расчетную модель для практического применения в процессе решения задач эксплуатации реактора ИВГ.1М, включая задачи обоснования возможности конверсии реактора на НОУ топливо.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Прозорова И.В. Пути модернизации канального исследовательского реактора ИВГ.1М. – Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, Томск, 2012, т. 321, № 2, с. 42-47.

2 Андреев И.Н., Чертков Ю.Б. Исследование возможности использования низкообогащенного керметного топлива в реакторе ИВГ.1М. – Наука и современность, Новосибирск, 2017, № 50, с. 88-95.

3 Котов В.М., Прозорова И.В. Вариант модернизации реактора ИВГ.1М с частичной заменой технологических каналов. – Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика, Обнинск, 2011, № 3, с. 12-20.

4 Прозорова И.В. Тестовая модель активной зоны реактора ИВГ.1М. – Известия высших учебных заведений. Физика, Томск, 2010, т. 53, № 11, с. 60-65.

5 Иркимбеков Р.А., Жагипарова Л.К., Вурим А.Д., Котов В.М., Прозорова И.В. Компьютерная модель реактора ИВГ.1М для стационарных нейтронно-физических расчетов. – А.с. №2757 РК, 24.08.2018.

6 Жагипарова Л.К., Вурим А.Д., Котов В.М. и др. Моделирование реактора ИВГ.1М. – Вестник НЯЦ РК, Курчатов, 2017, вып. 3, с 59-64.

7 Жагипарова Л.К., Котов В.М. Анализ возможностей реактора ИВГ.1М с топливом низкого обогащения. – Вестник НЯЦ РК, Курчатов, 2017, вып. 3, с. 55-58.

8 Байгожина А.А., Иркимбеков Р.А., Жагипарова Л.К. Анализ проектных аварий на реакторе ИВГ.1М. – Вестник НЯЦ РК, Курчатов, 2017, вып. 3, с.45-50.

9 MCNP-5.1.40 Monte-Carlo N-Particle Transport Code. LANL, 2003.

10 MCNP6 Monte Carlo N-Particle Transport Code System, MCNP6.1. LANL, 2013.

Таблица 1- Расчетная конфигурация реактора для верификации модели

№ кон- фигу- рации	Положение		Температура, К	Центральная сборка	K _{эф} *	ρ**, β _{эф}
	Регулирующие барабаны, градус	Стержни компенсации реактивности, мм				
3 канала с физическим макетом, 6 стержней компенсации реактивности в зоне, критическое состояние 1990 г.						
1	111	0	Нет данных	Без канала	1,00263	0,36
2	0	0	Нет данных	Без канала	0,93700	-9,21
3	180	0	Нет данных	Без канала	1,01892	2,54
3 канала с физическим макетом, 12 стержней компенсации реактивности в зоне, критическое состояние 1990 г.						
4	89	0	Нет данных	Без канала	1,00077	0,11
5	0	0	Нет данных	Без канала	0,95350	-6,68
6	180	0	Нет данных	Без канала	1,03419	4,53
12 стержней компенсации реактивности в зоне, критическое состояние 1990 г.						
7	79	0	Нет данных	Без канала	0,99981	-0,03
8	0	0	Нет данных	Без канала	0,96218	-5,38
9	180	0	Нет данных	Без канала	1,04286	5,63
12 стержней компенсации реактивности в зоне, расчет выгорания 1990 – 2016 г.						
10	108	0	Нет данных	С каналом	-	-
12 стержней компенсации реактивности в зоне, критическое состояние 2016 г.						
11	131	0	292	С каналом	1,00374	0,47
12	0	0	292	С каналом	0,92920	-10,44
13	180	0	292	С каналом	1,01004	1,36
12 стержней компенсации реактивности в зоне, свежее топливо в канале 14, 2017 г.						
14	131	0	292	С каналом	1,00473	0,64
12 стержней компенсации реактивности в зоне, свежее топливо в канале 14, критическое состояние, 2017 г.						
15	126	0	292	С каналом	1,00320	0,40
12 стержней компенсации реактивности в зоне, свежее топливо в канале 14, 24, 2017 г.						
16	131	0	292	С каналом	1,00627	0,85
12 стержней компенсации реактивности в зоне, свежее топливо в канале 14, 24, критическое состояние 2017 г.						
17	121	0	292	С каналом	1,00214	0,25
12 стержней компенсации реактивности в зоне, свежее топливо в канале 14, 24, критическое состояние 2017 г.						
18	124	0	286	С каналом	1,00349	0,28
19	127	-200	286	С каналом	1,00386	0,33
20	132	-270	286	С каналом	1,00412	0,36
21	139	-310	286	С каналом	1,00478	0,45
22	143	-330	286	С каналом	1,00510	0,50
23	149	-350	286	С каналом	1,00522	0,51
24	90	0	286	Без канала	0,99749	-0,54
25	91	-200	286	Без канала	0,99726	-0,57
26	94	-300	286	Без канала	0,99727	-0,57
27	97	-350	286	Без канала	0,99759	-0,53
28	106	-450	286	Без канала	0,99806	-0,46
29	113	-500	286	Без канала	0,99870	-0,38
30	121	-550	286	Без канала	0,99952	-0,26
31	131	-600	286	Без канала	0,99961	-0,25
32	146	-650	286	Без канала	1,00055	-0,12
33	153	-670	286	Без канала	1,00075	-0,09
34	169	-700	286	Без канала	1,00100	-0,06
* Статистическая погрешность 0,00004, расчеты выполнены при температуре активной зоны 293,6 К.						
** Сделана поправка на температуру активной зоны в эксперименте.						

Таблица 2. Распределение мощности в технологических каналах реактора (конфигурация7)

Интервал по высоте, см	Первый ряд технологических каналов		Третий ряд технологических каналов	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
71-81	0,274	0,208	-	-
61-71	0,544	0,440	-	-
50-60	0,992	0,928	0,843	0,768
40-50	1,296	1,352	1,074	1,062
30-40	1,469	1,504	1,225	1,218
20-30	1,430	1,504	1,191	1,218
10-20	1,174	1,232	0,979	1,038
0-10	0,821	0,840	0,687	0,690

Таблица 3. Параметры реактора при замене двух технологических каналов

Параметр	Реактивность, $\beta_{эф}$	
	Расчетная	Экспериментальная
Эффективность барабанов	11,8	10,8±1,0
Запас реактивности	1,36	0,89
Вес канала с низкообогащенным топливом:		
1-ый ряд	0,208	0,24±0,024
3-ий ряд	0,134	0,15±0,015
Два канала	0,342	0,39±0,04