

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ИВГ.1М ПОСЛЕ КОНВЕРСИИ

Прозорова И.В., Гныря В.С., Азимханов А.С., Иркимбеков Р.А.,
Попов Ю.А., Сабитова Р.Р., Нуржанов Е.Б., Медетбеков Б.С.
(ИАЭ РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан)

В течение последних десяти лет идет реализация проекта перевода реактора ИВГ.1М с высокообогащенного топлива (ВОУ), с обогащением 90 % по урану-235, на низкообогащенное топливо (НОУ), с обогащением топлива 19,75 %. В качестве основного критерия возможности конверсии реактора ИВГ.1М на низкообогащенное топливо было сформулировано требование по сохранению его экспериментальных возможностей.

На текущий момент проведен физический пуск реактора, который включал себя загрузку активной зоны реактора НОУ топливом и экспериментальные исследования по определению нейтронно-физических характеристик с новой активной зоной.

В ходе экспериментальных исследований проведены:

- измерения эффективности рабочих органов СУЗ;
- калибровка штатных датчиков СУЗ в единицах абсолютной мощности;
- определение подкритичности и запаса реактивности реактора;
- определение эффектов реактивности при осушении ТВС;
- определение активации воды и выхода продуктов деления из ТВЭЛов.

С помощью разборных физических макетов ТВС, оснащенных топливными и активационными детекторами, исследованы высотные и радиальные поля энерговыделений. На основе полученных распределений и результатов определения абсолютного числа делений в топливных детекторах была рассчитана абсолютная мощность ТВС каждого ряда активной зоны. Для центральной ячейки реактора определена плотность потока быстрых нейтронов.

В результате исследований установлено, что экспериментальные значения исследуемых нейтронно-физических характеристик в пределах погрешностей соответствуют расчетным значениям.

Полученные результаты исследования подтверждают работоспособность реактора при сохранении его исходных эксплуатационных характеристик и традиционной области применения.

Работа поддержана Министерством образования и Науки Республики Казахстан [грантовый проект № AP09259736]

Реактор ИВГ.1М

Исследовательский реактор ИВГ.1М представляет собой водоохлаждаемый реактор канального типа. Тепловыделяющие сборки расположены в 30 водоохлаждаемых технологических каналах, размещенных по трем кольцевым рядам. Исполнительными органами системы управления и защиты реактора (СУЗ) служат 10 регулирующих барабанов, расположенных в боковом бериллиевом отражателе. Регулирующие барабаны совмещает функции аварийной защиты, автоматического и ручного регулирования.

Достижение первого критического состояния

Выход реактора с НОУ-топливом в первое критическое состояние осуществлялся разворотом системы регулирующих барабанов от 1600 шагов, соответствующего

положению взведенной аварийной защиты. Разворот регулирующих барабанов реализован со скоростью 10 шагов/с ($0,04 \beta_{\text{эфф}}/\text{с}$). Через каждые 100 шагов регистрировались показания приборов каналов контроля нейтронного потока (ККНИ1, ККНИ2) и строились кривые обратного счета.

Критическое состояние реактора при полной загрузке НОУ-топливом было достигнуто 5 мая 2022 года при развороте барабанов на 91 градус (3050 шагов).

Исследование регулировочной характеристики системы регулирующих барабанов

Определение регулировочной характеристики проводилось поэтапно из нескольких различных критических состояний, полученных при изменении конфигурации активной зоны путем ввода/вывода стержней компенсации реактивности, установки/выгрузки физического макета ТВС и дополнительных поглотителей.

Некоторую сложность представляло измерение участка характеристики, лежащего выше штатного критического положения. Под штатным критическим положением понимается критическое состояние реактора с загрузкой 30-ю штатными технологическими каналами при полностью выведенных из активной зоны стержней компенсации реактивности. Для уменьшения избыточного запаса реактивности в центральный экспериментальный канал был установлен поглотитель нейтронов из стали, а из измерительного канала был извлечен физический макет ТВС и установлен второй дополнительный поглотитель нейтронов из стали.

Эффективность системы регулирующих барабанов определена при сбросах регулирующих барабанов из различных критических положений от кнопки «пружинный сброс» как сумма подкритичности реактора и запаса реактивности для данного положения системы регулирующих барабанов.

Была получена регулировочная характеристика системы регулирующих барабанов в сравнении с предварительными нейтронно-физическими расчетами, проведенными с помощью MCNP5 и полномасштабной модели реактора ИВГ.1М с НОУ-топливом. Следует отметить, что расчетные значения получены при полностью выведенных стержнях компенсации реактивности.

Определение веса отдельных РБ

Помимо экспериментов по определению регулировочной характеристики и эффективности всей системы регулирующих барабанов были сделаны дополнительные измерения эффективности отдельных регулирующих барабанов.

Определение эффективности стержней компенсации реактивности

Стационарная система стержней компенсации реактивности представляет собой систему бериллиевых вытеснителей, положение в активной зоне которых влияет на соотношение поглощения и замедления тепловых нейтронов в центральной части реактора. При выведении стержней компенсации реактивности из активной зоны реактора, освобождающееся пространство заполняется водой.

Регулировочная характеристика стержней компенсации реактивности определялась путем ввода стержней в активную зону с шагом 100 мм. Экспериментальные точки кривой получены сравнением критических состояний с помощью регулировочной кривой регулирующих барабанов.

Статистические «веса» технологических каналов и эффекты реактивности при их осушении

В ходе физического пуска также были проведены эксперименты по определению распределения энерговыделения в ТВС 1-го, 2-го и 3-го ряда технологических каналов с помощью их физических макетов. На данном этапе загрузка активной зоны состояла

из 29 штатных технологических каналов и измерительного канала с физическим макетом ТВС исследуемого ряда. Статистический «вес» физического макета определялся по регулировочной кривой регулирующих барабанов с помощью сравнения запаса реактивности реактора с физическим макетом и после его выгрузки из активной зоны.

Аналогичным образом определялся эффект реактивности при сливе воды из измерительного канала 1-го, 2-го и 3-го ряда: по регулировочной характеристике системы регулирующих барабанов сравнивались критические состояния реактора до и после внесения изменения в активную зону.

Измерение активационных интегралов по высоте экспериментального канала

Для определения распределения активационных интегралов в центральный экспериментальный канал были установлены проволоочные активационные индикаторы из ^{58}Ni , ^{59}Co и ^{50}Cr . Облучение индикаторов проводилось на пуске мощностью 1 кВт и эффективным временем облучения 1032 секунды.

Для данных исследований активная зона состояла из 30 штатных технологических каналов, стержни компенсации реактивности находились в положении 0 мм.

Гамма-спектрометрические измерения были выполнены с использованием сцинтилляционного гамма-детектора и анализатора InSpector-2000. Масса индикаторов предварительно измерена на аналитических весах ВЛР-200.

Заключение

В 2022 году был успешно реализован первый этап ввода в эксплуатацию реактора ИВГ.1М с НОУ-топливом, а именно, физический пуск реактора. В ходе физического пуска исследовано ~40 критических состояний, проведенные при этом физические исследования показали, что эксплуатационные характеристики новой активной зоны низкообогащенного реактора в целом не изменились.

Были определены регулировочные кривые и эффективности рабочих и компенсирующих органов СУЗ, статистические «веса» технологических каналов и эффекты реактивности при их осушении. Полученные результаты по измерению эффектов реактивности хорошо согласуются с предварительными результатами нейтронно-физического моделирования.

Подтверждено увеличение запаса реактивности реактора. Максимальный запас реактивности составил около $8,3 \beta_{\text{эфф}}$. Это позволяет увеличить время эксплуатации НОУ топлива и расширяет спектр работ, которые можно проводить на реакторе ИВГ.1М.

Работоспособность низкообогащенной активной зоны реактора была подтверждена после серии проведенных пусков реактора на номинальном уровне мощности в рамках программы энергетического пуска. Энергетический пуск является завершающим этапом перед началом эксплуатации ядерного реактора, в ходе которого выполняются финальные проверки работы всех систем в условиях, соответствующих штатным.