

СТАТЬИ

УДК 621.039

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ КАМПАНИИ ИБР-2

Ананьев В.Д. (ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл.),
Лукасевич И.Б., Попов В.Е., Романова Н.В. (АО «НИКИЭТ», г. Москва)
e-mail: popovve77@mail.ru

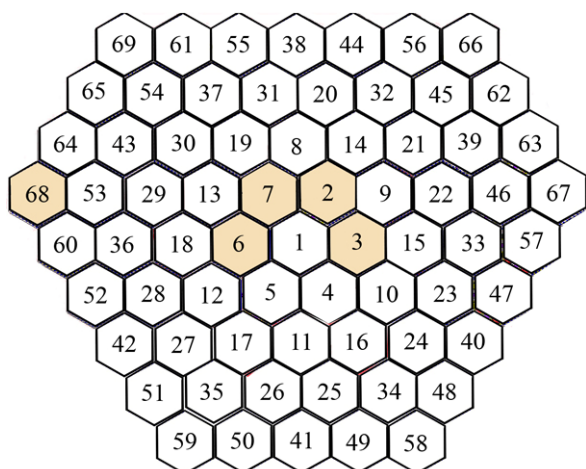
Импульсный реактор на быстрых нейтронах ИБР-2М используется в качестве источника нейтронов для фундаментальных исследований. Реактор входит в состав исследовательской ядерной установки ИБР-2, введенной в строй в 2011 г. после модернизации. Срок эксплуатации установки рассчитан ориентировочно до 2030 г. с учетом графика использования реактора и определяется в том числе кампанией топливной загрузки [1].

Физический пуск ИБР-2М проведен в 2011 г. В результате набрана компоновка из 64 ТВС, показанная на рис. 1. Пять ячеек компоновки активной зоны заняты имитаторами. При эксплуатации реактора снижение запаса реактивности компенсируется последовательной установкой свежих ТВС на место имитаторов. В настоящее время реактор имеет энерговыработку ~1000 МВт·сут, к исходной компоновке

добавлена одна ТВС, так что текущая компоновка состоит из 65 ТВС. В дальнейшем планируется заполнение остальных пустых ячеек свежими ТВС, однако замена частично выгоревших ТВС на свежие в рамках текущей кампании не предусматривается. Планируется кампания на одном комплекте ТВС. Завершение кампании реактора достигается по исчерпанию запаса реактивности при полной компоновке из 69 ТВС или при достижении локального выгорания, отвечающего максимально допустимому в проекте 9% тяж. ат. При организации кампании догрузки свежих ТВС без перестановок кампания реактора завершится при достижении энерговыработки ~4200 МВт·сут.

Цель работы состоит в оптимизации кампании за счет соответствующим образом организованных перегрузок, включающих в себя догрузку свежих ТВС взамен имитаторов и перестановку в пределах активной зоны частично выгоревших. Достигающееся в результате нескольких перегрузок выравнивание выгорания позволяет избежать раннего достижения максимально допустимого в единичной ТВС, сформировав группу ТВС с близким выгоранием. Это приводит к повышению среднего по активной зоне выгорания на время завершения кампании. В итоге это позволяет достичь более высокой энерговыработки реактора на одном комплекте ТВС.

Расчеты выполнены по программе MCU [2]. В разработанной расчетной модели реализовано трехмерное задание конструкции реактора с учетом текущего состояния основных элементов. Разработанная модель проверена на основе



Р и с. 1. Стартовая компоновка активной зоны:   — ТВС и имитатор соответственно (число означает номер ячейки)

результатов физического пуска и текущей эксплуатации реактора. Отклонения в запасе реактивности при физическом пуске и на разных этапах топливной кампании составляют не более 0,3%. Эта информация была учтена при моделировании дальнейшей кампании.

Кампания реактора состоит из перегрузочных операций и интервалов между перегрузками. Время перегрузки (догрузка свежих и перестановка частично выгоревших ТВС) определяется прежде всего допустимым интервалом запаса реактивности. Он должен быть достаточным для эксплуатации в импульсном режиме, но не превышать значений, которые могут быть компенсированы СУЗ для перевода реактора в подкритическое состояние, которое определяется нормативными документами. Таким образом, перегрузка моделировалась при снижении реактивности до $\sim 0,7\%$. В результате перегрузки запас реактивности не должен превышать 2,5%. Кроме того, при перегрузке моделировалась взаимная перестановка частично выгоревших ТВС, преимущественно между центральной и периферийной областью для постепенного выравнивания радиального распределения выгорания при дальнейшей эксплуатации.

В результате разработана и смоделирована следующая схема кампании реактора:

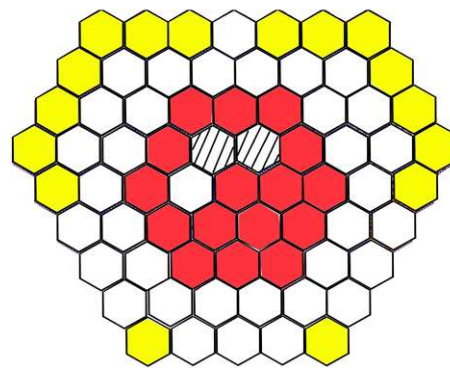
работа до энерговыработки 320 МВт·сут, после чего в ячейку 3 установлена свежая ТВС, в результате сформирована компоновка из 65 ТВС;

работа до энерговыработки 1750 МВт·сут, после чего в ячейку 6 загружается свежая ТВС. Формируется компоновка из 66 ТВС;

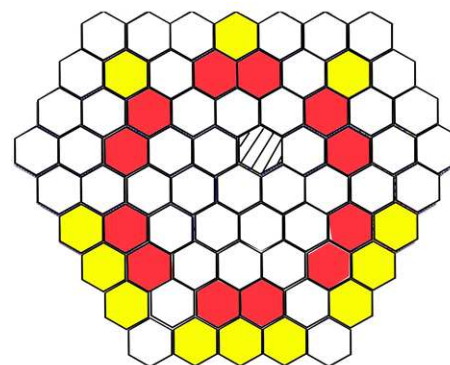
работа до энерговыработки 2950 МВт·сут, после чего формируется компоновка из 67 ТВС. При этом осуществляется перестановка частично выгоревших ТВС согласно рис. 2. Свежая ТВС загружается в ячейку 14;

работа до энерговыработки 3600 МВт·сут, после чего формируется компоновка из 68 ТВС. При этом осуществляется перестановка частично выгоревших ТВС согласно рис. 3. Свежая ТВС загружается в ячейку 7;

работа до энерговыработки 4900 МВт·сут, после чего загружается свежая ТВС в ячейку 2,



Р и с. 2. Конфигурация активной зоны после перегрузки при энерговыработке 2950 МВт·сут: ■ — ТВС, переставленные с периферии, и свежая ТВС в ячейке 14; ■ — ТВС, переставленные из центральной области; — имитатор



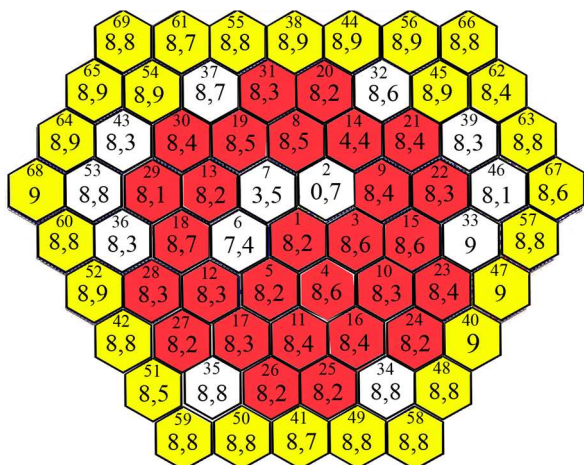
Р и с. 3. Конфигурация активной зоны после перегрузки при энерговыработке 3600 МВт·сут: ■ — ТВС, переставленные с периферии; ■ — ТВС, переставленные из 4-го ряда; — имитатор

в результате активная зона полностью заполнена;

работа до энерговыработки 5200 МВт·сут.

Таким образом, кампания завершается при полностью загруженной конфигурации из 69 ТВС в результате достижения максимально допустимого локального выгорания. Выгорание более 8,5% тяж. ат. достигается в более чем половине активной зоны — 39 ТВС. С учетом погрешности расчета такое выгорание может быть признано близким к предельно допустимому. Расчетное распределение максимального локального выгорания по ТВС на время завершения кампании показано на рис. 4. Энерговыработка реактора составляет 5200 МВт·сут, что на 1000 МВт·сут больше достигаемой в кампании без перестановок.

Реализация рассмотренных предложений по оптимизации кампании возможна после комплексных расчетов в обоснование работоспособ-



Р и с. 4. Максимальное выгорание в ТВС на конец кампании: — ТВС, переставленные с периферии, и первая ТВС, догруженная в ячейку 14 (верхнее число — номер ячейки, нижнее — выгорание, % тяж. ат.); — ТВС, переставленные из центральной области и 4-го ряда; — непереставляемые ТВС

ности и безопасности реактора. В частности, должны быть проанализированы поле энерговыделения, тепловые нагрузки на ТВЭЛ и температура оболочки ТВЭЛ, эффективность рабочих органов СУЗ и другие параметры реактора, которые могут измениться в результате искажения нейтронного поля, обусловленного массовой перестановкой ТВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев В.Д., Виноградов А.В., Долгих А.В. и др. Физический пуск реактора модернизированного реактора ИБР-2 (ИБР-2М): Сообщение ОИЯИ, 2012.
2. Алексеев Н.И., Большагин С.Н., Гомин Е.А. и др. Статус МСУ-5. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2011, вып. 4, с. 4—23.

Поступила в Редакцию 24.01.19

УДК 621.039.58+621.039.003

ВЛИЯНИЕ УЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА НА СТРУКТУРНЫЙ СОСТАВ СИСТЕМЫ АЭС

Расторгуев И.А., Щепетина Т.Д. (НИЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)
schepetina_td@nrcki.ru

Для сравнения перспективных проектов атомных станций используются показатели при нормальных условиях эксплуатации. Возможные риски по жизненному циклу и аварийные ситуации, как правило, не учитываются. Стратегии развития энергетики могут разрабатываться с разным целеполаганием, а также с реальными или ошибочными приоритетами. Ядерная энергетика не является исключением, и задача настоящей статьи — с помощью расчетных моделей показать влияние учета интегрального риска на выбор оптимального мощностного ряда развивающейся системы атомных станций [1].

Как правило, есть несколько ключевых стратегических параметров по экономичности, надежности и безопасности, которые относятся как к финансовым, так и нефинансовым категориям. Возможны два основных направления развития реакторостроения — сооружение атомных станций большой 700—2000 МВт или

малой, средней электрической мощности 10—100 и 300—700 МВт соответственно.

Ядерная энергетика должна не просто надежно функционировать, оправданы ожидания получить от нее положительный синергетический эффект. Для любой системы существует такой набор элементов, при котором ее потенциал всегда значительно больше простой суммы потенциалов входящих в нее элементов (экономическая доходность, безопасность, надежность, экологичность, приемлемость обществом, рабочие места и др.) Применительно к ядерной энергетике в синергетически положительной системе хорошие стоимостные характеристики атомных станций с реакторами большой мощности в крупных узлах и объединенных энергосистемах сочетаются с высокими показателями безопасности атомных станций с реакторами малой и средней мощности в региональной энергетике и в составе атомных энерготехнологических кластеров.