

## СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ "ЗАПАС ВЫГОРАНИЯ" В СИСТЕМАХ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

С 15 по 26 октября 2001 г. сотрудники НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России принимали участие в региональных курсах МАГАТЭ по вопросам, связанным с реализацией концепции "запас выгорания" в системах обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Курсы проводились в Аргонской национальной лаборатории (США).

Цель курсов - представление технической информации об использовании концепции "запас выгорания" специалистами эксплуатирующих организаций, органов регулирования безопасности и организаций научно-технической поддержки органов регулирования безопасности.

В ходе проведения курсов рассматривались вопросы использования концепции "запас выгорания" в хранилищах ОЯТ бассейнового и сухого типа, а также при транспортировании ОЯТ и промежуточном хранении ОЯТ реакторов типа PWR и BWR в бассейнах выдержки на АЭС. Представлена информация о деятельности МАГАТЭ и ОЭСР/АЯЭ, направленной на реализацию концепции "запас выгорания". Рассмотрены отдельные модули вычислительного комплекса расчета нейтронно-физических характеристик систем с делящимися материалами Scale4.4a.

В настоящее время из всего накопленного в мире ОЯТ более 145000 тонн тяжелого металла (ТМ) ОЯТ хранится в бассейнах выдержки на АЭС, а также в отдельно расположенных хранилищах ОЯТ бассейнового и сухого типа. Обращение с ОЯТ вносит существенный вклад в стоимость электроэнергии, получаемой на АЭС. Одним из одобренных МАГАТЭ механизмов уменьшения стоимости ядерного топливного цикла является реализация концепции "запас выгорания" в системах обращения с ОЯТ. Ряд стран используют эту концепцию при анализе ядерной безопасности при обращении с ОЯТ с целью:

- размещения ОЯТ с более высоким обогащением в существующие хранилища ОЯТ;
- увеличения вместимости хранилищ ОЯТ;
- увеличения вместимости контейнеров ОЯТ.

При расчетах, связанных с анализом ядерной безопасности хранилищ ОЯТ и транспортных контейнеров ОЯТ, традиционно принимается консервативный подход, при котором системы хранения и обращения с ОЯТ имеют максимальный  $K_{эф}$ . ОЯТ считается свежим (невыгоревшим). Это приближение является заведомо консервативным, не учитывающим историю облучения топлива, т.е. уменьшение реактивности в результате облучения. Поэтому анализ ядерной безопасности в данном случае достаточно упрощен.

Разработка современных вычислительных комплексов для анализа ядерной безопасности привела к уменьшению неопределенностей, связанных с расчетом коэффициента размножения нейтронов, что позволяет использовать более экономичные конструкции для хранилищ ОЯТ и транспортных контейнеров ОЯТ. Усовершенствованные расчетные методы позволяют количественно оценить уменьшение реактивности системы, связанное с выгоранием топлива. Концепция, учитывающая уменьшение реактивности выгоревшего топлива, называется "запас выгорания", по сути, может считаться методикой оценки запаса реактивности ОЯТ. Разработчики этой концепции предлагают учитывать при анализе ядерной безопасности хранилищ и контейнеров ОЯТ выгорание и накопление делящихся материалов, образование и накопление актинидов в ядерном топливе, поглощение нейтронов продуктами деления и актинидами, уменьшение концентрации выгорающих поглотителей.

Концепция "запас выгорания" для мокрых хранилищ ОЯТ уже применена во многих странах для увеличения вместимости хранилищ ОЯТ и для обращения с топливом более высокого обогащения. Для использования указанной концепции обычно выделяют одну из двух или более зон бассейна выдержки. В США на большинстве АЭС с реакторами типа PWR бассейны выдержки разделены на две зоны: с использованием концепции "запас выгорания" и без ее использования. В зону с использованием концепции "запас выгорания" помещают топливо с минимальным выгоранием для данного первоначального обогащения. Данные о выгорании ОЯТ должны проверяться перед загрузкой в зону с использованием концепции "запас выгорания". В США также планируется использовать указанную концепцию в целях увеличения вместимости двухцелевых контейнеров с 24 сборок ОЯТ реакторов PWR до 32 сборок.

Для бассейнов выдержки ОЯТ большинства АЭС с реакторами типа BWR концепция "запас выгорания" применяется частично. При использовании топлива, содержащего гадолиний, коэффициент размножения нейтронов увеличивается с выгоранием. Ранее при рассмотрении ядерной безопасности бассейны выдержки ОЯТ анализировались на основе консервативного подхода, т.е. принималось, что топливо не содержит гадолиний. Рассматриваемая МАГАТЭ методика учета гадолиния в топливе называется "запас гадолиния" и может считаться частью концепции "запас выгорания". Проектные решения хранилищ ОЯТ и контейнеров ОЯТ реакторов BWR основаны на предположении, что топливо имеет максимальные значения реактивности.

\* Концепция "запас выгорания" - концепция, учитывающая уменьшение реактивности выгоревшего топлива.

При анализе ядерной безопасности с использованием концепции "запас выгорания" проводится расчет изменения изотопного состава топлива и реактивности системы обращения с ОЯТ. Требуется определить концентрацию изотопов различных нуклидов в ОЯТ как функцию выгорания. Расчет критичности позволяет установить реактивность системы, исходя из полученных значений изотопного состава ОЯТ.

Используемые при обосновании ядерной безопасности компьютерные программы требуют тщательной аттестации и верификации.

В качестве возможного расчетного аппарата для реализации концепции "запас выгорания" предлагается разработанная в Ок-Риджской Национальной Лаборатории компьютерная программа Scale - стандартный компьютерный анализ для лицензионных оценок безопасности ядерных объектов.

Система Scale позволяет проводить анализ ядерной безопасности, расчет радиационной защиты, анализ характеристик ОЯТ, определение теплофизических параметров.

Д. М. Мурлис, младший научный сотрудник  
Отдела безопасности ПТЦ НТЦ ЯРБ  
Госатомнадзора России