ПРОБЛЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЯДЕР – ПОГЛОТИТЕЛЕЙ НЕЙТРОНОВ ПРИ ВТОРИЧНОМ И ТРЕТИЧНОМ РЕЦИКЛИРОВАНИИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Громов В.О.¹, Шаманин И.В.².

Научный руководитель: Шаманин И.В.², д. ф.-м. н., профессор

¹ФГУП «Горно-химический комбинат», г. Железногорск,
ул. Ленина, 53

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Drak-08@mail.ru

Переработка ядерного топлива и возвращение в цикл делящихся материалов является одним из стратегических направлений деятельности Госкорпорации «Росатом». Реализация данного направления позволяет замкнуть ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Замыкание ЯТЦ предполагает извлечение из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) невыгоревших ядер исходного горючего и ядер вторичного горючего с целью возвращения в ядерный топливный цикл.

Выгоревшее в ядерном реакторе топливо по изотопному составу урана существенно отличается от природной смеси изотопов урана. В выгоревшей смеси помимо разницы в изотопной концентрации U-235 в значительных количествах присутствует нежелательный изотоп U-236. Также в результате ядерных превращений накапливается изотоп Pu-240. Данные изотопы не отделяются в процессе химической переработки ОЯТ, а их повышенное содержание создает трудности в использовании регенерированного ядерного топлива. В активной зоне реактора, наряду с делением ядер, происходят реакции радиационного захвата нейтронов и превращения нуклидов в неделиющиеся ядра-поглотители нейтронов. Схема цепочек деления и ядерных превращений урана и плутония под действием тепловых нейтронов в активной зоне ядерного реактора, загруженного урановым топливом, показана в пособии [1]. Значительная часть U-235 не делится, а превращается в искусственный неделиющийся радиоактивный изотоп U-236. Вероятность образования изотопа U-236 из U-235 соответствует отношению сечения радиационного захвата U-235 ($\sigma_{n,\gamma} \approx 99$ барн для тепловых нейтронов) к сумме сечений радиационного захвата и деления ($\sigma_f \approx 580$ барн). Таким образом, около 15% ядер U-235 остаются без энерговыработки. Вероятность превращения Pu-239 в неделиющийся изотоп Pu-240 еще больше чем у U-235, и составляет примерно 26%. При глубине выгорания топлива 30 МВт·сут/кг и начальном обогащении по U-235 ~3,4% в реакторах на тепловых нейтронах образуется 0,35-0,4% U-236. При содержании U-236 в активной зоне 0,12% потеря достижимой глубины выгорания составит 1МВт·сут/кг, при 0,4% U-236 – 2,5 МВт·сут/кг, при 1% U-236 – 5 МВт·сут/кг. Для компенсации отрицательного влияния U-236 и получения заданных энергетических характеристик необходимо повысить начальное обогащение топлива U-235, что увеличивает стоимость ЯТЦ.

В таблице 1 представлено изменение содержания неделиющихся нуклидов после нескольких рециклов в реакторе ВВЭР-1000 (4-х летний топливный цикл) при глубине выгорания 49,2 ГВт·сут/т и выдержке 5 лет.

Таблица 1

Нуклид	ОЯТ UO ₂ , кг/т U	После 1-го рецикла, кг/т U	После 3-го рецикла, кг/т U	После 5-го рецикла, кг/т U
U ²³⁶	5,89	9,54	13,95	16,19
Pu ²⁴⁰	3,18	4,04	4,65	4,63

При многократных возвратах в топливный цикл регенерируемого ядерного топлива содержание U-236 возрастает, содержание Pu-240 стабилизируется. Из-за неравномерности нейтронного потока и несовершенства регулирования в активной зоне ядерного реактора имеет место значительная неравномерность энерговыделения по высоте и диаметру зоны и по отдельным ТВС и твэлам.

В связи с этим количество накапливаемых ядер-поглотителей нейтронов будет распределяться неравномерно по зоне реактора - в зависимости от расположения тепловыделяющих элементов, длительности облучения нейтронами, конструкции ТВС и выбранной решеткой размещения твэлов.

В данной работе представлены результаты теоретических исследований накопления ядер-поглотителей нейтронов в зависимости от кампании ядерного топлива.

Результаты проведенных исследований могут позволить заранее точно определять содержание нуклидов U-236 и Pu-240 после нескольких рециклов ядерного топлива.