

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелёв Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливного энергетического комплекса. М.: РГТУ, 1996. – 736 с.
2. Коэн К. Разделение изотопов // В сб.: Научные и технические основы ядерной энергетики. Под ред. К. Гудмена. Т.2. М.: Издательство иностранной литературы, 1950.
3. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976. – 392 с.
4. Обогащение урана. Под. Ред. С. Виллани. Пер. с англ. под. ред. И.К. Кикоина. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ УРАНА В ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ

Кравченко А.В.<sup>1</sup>, Лебедев А.Я.<sup>2</sup>, Титов Е.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Орлов А.А.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.

Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>ОАО «ПО «ЭХЗ», г. Зеленогорск,

ул. Первая промышленная, 1

E-mail: orlova@tpu.ru

В зависимости от способа обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ), ядерные топливные циклы подразделяются на открытые и замкнутые.

В открытом топливном цикле ядерное топливо производится из природного сырья или его соединений, а выгружаемое ОЯТ направляется на предварительное хранение с последующим окончательным захоронением в геологические формации. Таким образом, в открытом топливном цикле ОЯТ и соответственно содержащиеся в нем делящиеся материалы полностью выводятся из ядерно-топливного цикла атомной энергетики.

В замкнутом цикле топливо производится как из первичного, так и вторичного сырья, т.е. происходит утилизация делящихся нуклидов из отработанного топлива в результате его радиохимической переработки с возвратом в топливный цикл.

В настоящее время в России, хранится 14 тысяч тонн отработанного топлива и имеется возможность принять и переработать в течение десяти лет 20 тысяч тонн из-за рубежа, заработав на этом 10 миллиардов долларов. Сегодня переработка одного килограмма ядерного топлива стоит на мировом рынке 800 долларов. Переработка без возврата

плутония – 1600 долларов. Переработка включает в себя растворение отработанного топлива, что делает возможным отделение урана и плутония от продуктов деления и актиноидов; последующее возвращение урана в топливный цикл путем обогащения до нужной концентрации.

Делящиеся материалы в ОЯТ представляют собой значительный энергетический потенциал, для использования который можно вернуть в топливный цикл для производства нового (вторичного) ядерного топлива. В топливный цикл может быть возвращен невыгоревший уран или накопленный плутоний или оба делящихся продукта.

Рецикл регенерированного урана и плутония снижает потребности в природном уране примерно на 20% и в мощности разделительных заводов – на 15%. Отработанное топливо ВВР реактора обычно содержит 1,15% плутония, 94,3% урана, 4,55% продукты распада. Сегодняшняя экономическая ситуация на урановом рынке ограничивает интерес в рециркуляции урана, это связано с необратимыми потерями  $^{235}\text{U}$  в реакторах вызываемое радиационным захватом нейтронов без деления.

Пока природных запасов урана достаточно и регенерированное топливо в основном складировать. Но уже в этом столетии, по подсчетам специалистов, оно будет востребовано. Уже сейчас возможен замкнутый топливный цикл реакторов, но в нем основной проблемой является накопление сорных изотопов  $^{232}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$  при многократных возвратах в топливный цикл регенерируемого уранового топлива, неотделимых химическим путем. Можно выделить 4 основные схемы использования регенерированного урана: 1) без подпитки природного урана, 2) с подпиткой природного урана, 3) смешение с обогатителем, наработанным из природного урана, 4) смешение с обогатителем из регенерированного урана с реакторов, работающих на топливе с высокой концентрацией  $^{235}\text{U}$ .

Показано, что при отсутствии подпитки природного урана, практически весь уран исчерпывается к третьему циклу, а содержание  $^{232}\text{U}$  в регенерированном топливе существенно превышает допустимый уровень.

При смешении природного и регенерированного урана на звене разделения изотопов в соотношении 7:1 можно рассчитывать на то, что содержание изотопов  $^{232}\text{U}$  в регенерированном топливе не превысит нескольких единиц на  $10^{-7}$  вес % в большом количестве циклов использования, Это означает, что природный уран для замкнутого цикла ВВЭР также потребуются в значительных количествах.

При дообогащении регенерированного урана за счет смешения его с обогатителем в одной тонне регенерированного топлива расход регенерированного урана составил всего 46%, а расход разбавителя составил 43%. Таким образом, нейтрализация  $^{232}\text{U}$  за счет разбавителя значительно снижает эффективность использования регенерированного урана, так как уменьшается замещение природного урана регенерированным.

На следующем этапе представляет интерес провести анализ эффективности методов рециркуляции урана.