

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ ОБЛУЧЕННОГО ЯДЕРНОГО ГРАФИТА В КИСЛОРОДНОЙ СРЕДЕ

Беспала Ю.Р.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. В.Ф. Мышкин

Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [bespalayr@tpu.ru](mailto:bespalayr@tpu.ru)

Известно, что в уран-графитовых ядерных реакторах (энергетических и промышленных) в качестве замедлителя нейтронов используется особо чистый графит. При производстве ядерный графит проходит несколько этапов очистки: термическое прокаливание кокса, высокотемпературный обжиг заготовок, графитация. Однако, в графите остаются различные примеси, например,  $O_2$ ,  $N_2$ , Fe, V, Ti, Al, Mn, Ni, Co, Ca, Mg, B, Cl, S. При работе реактора происходит поглощение нейтронов этими примесями и образование различных радионуклидов, которые формируют общую активность облученного ядерного графита.

В настоящее время в мире накоплено более 250 000 тонн графитовых радиоактивных отходов (РАО). Определено, что наведенная активность таких РАО определяется активационными радионуклидами ( $^3H$ ,  $^{14}C$ ,  $^{55}Fe$ ,  $^{60}Co$  и др.), продуктами деления ( $^{90}Sr$ ,  $^{106}Ru$ ,  $^{125}Sb$ ,  $^{133}Ba$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{154}Eu$ ,  $^{155}Eu$  и др.) и трансурановыми элементами ( $^{241}Am$ ,  $^{243}Am$ ,  $^{244}Cm$  и др.). Нуклиды непрочно удерживаются на поверхности. При приповерхностном захоронении облученного графита потенциальная опасность отходов заключается в повышенной скорости выщелачивания радионуклидов. При этом стоимость захоронения облученного ядерного графита зависит от класса РАО, который определяется суммарной активностью, входящих в его состав радионуклидов, и наличием в нем продуктов деления и актиноидов. Для уменьшения затрат на хранение необходимо снижать класс активности графитовых отходов.

К перспективным методам дезактивации и уменьшения потенциальной опасности облученного ядерного графита можно отнести: сжигание в окислительной среде [1], пиролиз, плазменная обработка [2]. Известные способы объединяет совокупность следующих технологических операций: подготовка облученного ядерного графита, его нагрев, селективное удаление радионуклидов. Однако графитовые РАО представляют собой особый класс отходов, в которых под действием нейтронного потока накапливается энергия, связанная с нарушением структуры графита. Эта энергия может выделяться в виде значительного количества тепла.

В настоящей работе рассматриваются вопросы, связанные с взаимодействием химически активного газового потока с поверхностью облученного ядерного графита в широком диапазоне температур, при термической переработке графитовых РАО. Проанализирован процесс горения графита и показан вклад запасенной энергии на энергетический и массовый баланс облученного графита.

Разработана математическая модель процесса окисления облученного ядерного графита уран-графитовых реакторов при его термической обработке, основанная на уравнении теплопроводности. В докладе показывается, что качественный и количественный состав газообразных продуктов реакции зависит от термо- и газодинамического режима ведения процесса. Например, что в диапазоне температур 400–700°C и при скорости подачи газа 0,1 м/с, происходит кратковременное изменение температуры графита за счет отжига дефектов выделения энергии образования графита. Однако на состав газообразных продуктов реакции в большей степени влияет скорость набегающего потока, при отсутствии конвективных потоков, когда изменение концентрации продуктов реакции происходит только за счет диффузии, влияние выделения запасенной энергии на баланс массы системы максимально.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки термических методов снижения потенциальной опасности графитовых РАО.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашеев В.А. Технология и установка для сжигания облученного реакторного графита / В.А. Кашеев, С.А. Якунин, В.С. Загуменнов, А.О. Павлюк, С.Г. Котляревский, Е.В. Беспала // Атомная энергия. – 2017. – Т. 122. – № 4. – С. 210–213.
2. Беспала Е.В. Тепломассоперенос при испарении цезия с поверхности графита в аргоновой среде / Е.В. Беспала, В.Ф. Мышкин, А.О. Павлюк, И.Ю. Новосёлов // Атомная энергия. – 2017. – Т. 122. – № 6. – С. 325–329.