

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПЛУТОНИЙ-ТОРИЕВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

И.Ю. Загузин, И.Ю. Новоселов, А.С. Тихонов  
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Каренгин А.Г.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, karengin@tpu.ru*

Использование изотопов плутоний-239 и торий-232 не требует дорогостоящего изотопного обогащения и дает возможность создания сверхмалых (до 10 МВт) и малых (до 100 МВт) энергетических установок для использования в удаленных и труднодоступных регионах, на рудниках и карьерах. Поэтому перспективным является создание дисперсионного ЯТ в виде топливных оксидных композиций (ОК), включающих оксиды делящихся металлов (плутоний, торий) распределенных в матрице с высокой теплопроводностью и низким поглощением нейтронов [1].

Для их энергоэффективного получения может быть использован плазмохимический синтез ОК из водно-органических нитратных растворов (ВОНР), имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг [2].

Экспериментальные исследования процесса синтеза топливных ОК в воздушно-плазменном потоке проводились на лабораторном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01» на модельных растворах ВОНР, включающих органический компонент (ацетон) и смешанные водные нитратные растворы магния, самария и церия, имеющих близкие свойства с делящимися металлами (плутоний и торий), и моделирующих плазмохимический синтез оксидных композиций «PuO<sub>2</sub>–ThO<sub>2</sub>–MgO».

Подготовленные растворы ВОНР подавались с постоянным расходом (300 л/ч) в диспергатор и далее в диспергированном виде поступали в реактор, где в воздушно-плазменном потоке осуществлялся синтез модельных ОК при температуре  $T_p \geq 1000$  °С. Контроль температуры осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром (IRE 140/45) по линии поглощения диоксида углерода. После реактора полученные ОК поступали в узел «мокрой» очистки (УМО), где происходило их резкое охлаждение (закалка) с получением водных суспензий, которые отстаивали, полученные

осадки отделяли, фильтровали и прокачивали в течение 20 минут при температуре 150 °С. В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния состава растворов ВОНР, режимов их диспергирования, а также скорости закалки на физико-химические свойства ОК (размер и морфология частиц, гранулометрический и фазовый состав, удельная поверхность).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10% до 30% в составе ОК «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–MgO» (при  $\alpha = \text{Sm}_2\text{O}_3 / (\text{Sm}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0,1$ ), приводит при постоянном расходе воды на закалку ОК (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (50 Гц) к снижению размера ОК после УМО с 9,4 мкм до 7,4 мкм (метод лазерной дифракции). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 7,9 м<sup>2</sup>/г до 11,2 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК снижается с 110 нм до 86 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10% до 30% в составе ОК (при  $\alpha = 0,2$ ), приводит при частоте диспергатора 50 Гц к снижению размера ОК после УМО с 12,3 мкм до 6,6 мкм (метод ЛД).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10% до 30% в составе ОК (при  $\alpha = 0,3$ ), также приводит при частоте диспергатора 50 Гц к образованию ОК после УМО от 7,4 до 7,5 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 9,5 м<sup>2</sup>/г до 11,9 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК уменьшается с 90 нм до 80 нм (БЭТ-анализ).

Таким образом, определены составы модельных растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие синтез в воздушно-плазменном потоке наноразмерных сложных оксидных композиций.

Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза наноразмерных топливных оксидных композиций для плутоний-ториевого дисперсионного ЯТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-19-00136).

### Список литературы

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. *Дисперсионное ядерное топливо*, М.: Техносфера, 2015.– 248 с.
2. Ivan Yu. Novoselov, Alexander G. Karengin, Renat G. Babaev. *Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings, 2018.– V.1938.– Article number 020016.– P.1–5.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАНОВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Е.Э. Зотов, К.С. Иванов, А.А. Каренгин

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Каренгин А.Г.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, karengin@tpu.ru*

Применяемое в реакторах на тепловых нейтронах керамическое ядерное топливо (ЯТ) из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет ряд существенных недостатков: низкая теплопроводность, высокая хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования и ограниченный ресурс изотопа уран-235. Поэтому перспективным является создание уранового дисперсионного ЯТ из диоксида урана равномерно распределенного в матрице с высокой теплопроводностью и низким сечением резонансного поглощения тепловых нейтронов [1].

Традиционные технологии раздельного получения и механического смешения оксидов металлов приводят к удорожанию технологии получения дисперсионного ЯТ. При этом плазменная переработка смешанных водно-органических нитратных растворов металлов (ВОНР) для синтеза топливных оксидных композиций (ОК) имеет следующие достоинства: одностадийность и высокая скорость процесса, однородное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энергозатраты [2].

Экспериментальные исследования процесса синтеза топливных ОК в воздушно-плазменном потоке проводились на лабораторном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного

генератора ВЧГ8-60/13-01» на модельных растворах ВОНР, включающих органический компонент (ацетон) и смешанные водные нитратные растворы магния и неодима, имеющего близкие свойства с делящимся металлом (уран), и моделирующих плазмохимический синтез оксидных композиций «UO<sub>2</sub>-MgO».

Подготовленные растворы ВОНР подавались с постоянным расходом (300 л/ч) в диспергатор и далее поступали в реактор, где в воздушно-плазменном потоке осуществлялся синтез модельных ОК при температуре  $T_p \geq 1000^\circ\text{C}$ . Контроль температуры осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром (IPE 140/45) по линии поглощения диоксида углерода. После реактора полученные ОК поступали в узел «мокрой» очистки (УМО), где происходило их резкое охлаждение (закалка) с получением водных суспензий, которые отстаивали, полученные осадки отделяли, фильтровали и прокаливали в течение 20 минут при температуре  $150^\circ\text{C}$ . В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния состава растворов ВОНР, режимов их диспергирования, а также скорости закалки на физико-химические свойства ОК (размер и морфология частиц, гранулометрический и фазовый состав, удельная поверхность).

Показано, что при постоянном расходе воды на закалку (2,8 кг/с) и частоте диспергатора