



Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР при массовой доле воздуха 69 % : (MgO – 10 %)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных СОК из диспергированных растворов ВОНР редкоземельных, редких и рассеянных металлов.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее.– М.: Физматлит, 2003.–759 с.
- Novoselov I.Yu., Karengin A.G., Babaev R.G. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 1938. – P. 1-5.

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДИСПЕРСИОННОЕ ПЛУТОНИЙ-ТОРИЕВОЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО

Иванов К.С., Новоселов И.Ю., Тихонов А.Е.

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

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

E-mail: ksi5@tpu.ru

Значительную часть ядерной энергетики в двадцать первом веке еще будут составлять АЭС с реакторами на тепловых нейтронах, использующих ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, у которого наряду с несомненными достоинствами есть и существенные недостатки: низкая теплопроводность, которая ограничивает удельную мощность реактора по температуре плавления, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), невозможность создания энергетических установок сверхмалой (до 10 МВт) и малой (до 100 МВт) мощности, большие расходы на утилизацию отработавшего топлива, ограниченный ресурс изотопа уран-235.

Для дальнейшего развития ядерной энергетики перспективным является плутоний-ториевое дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) из оксидов делящихся металлов (плутоний, торий), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1].

При использовании изотопов торий-232 и плутоний-239 отпадает необходимость в дорогостоящем изотопном обогащении и появляется возможность создания энергетических установок сверхмалой и малой мощности для использования в труднодоступных регионах.

В отличие от применяемых методов получения сложных оксидных композиций (СОК) путем отдельного получения и механического смешения оксидов металлов, плазмохимический синтез СОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны) и водные нитратные растворы, имеет следующие преимущества: одностадийность, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энерго- и трудозатраты [2].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза СОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих ацетон и смешанные водные нитратные растворы самария (вместо плутония), церия (вместо тория) и магния. Подготовленные растворы ВОНР подавались (300 л/ч) через диспергатор в реактор плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона, где в воздушно-плазменном потоке при температурах  $\geq 1000$  °С осуществлялся синтез СОК, затем в узле «мокрой»

очистки происходило их резкое охлаждение («закалка») с образованием водных суспензий, которые отстаивали, фильтровали и прокаливали в течение 20 минут при температуре 150 °С.

В ходе исследований проводились лазерная дифракция водных суспензий СОК, сканирующая электронная микроскопия, БЭТ-анализ и рентгенофазовый анализ полученных порошков. Установлено, что при расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с), частоте вращения диспергатора (50 Гц) и различных значениях  $\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm} + \text{Nd})$  увеличение доли MgO (10...30 %) в составе СОК «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» приводит: к снижению размера частиц водных суспензий СОК с 9,4 до 7,4 мкм (при  $\alpha = 0,1$ ); с 12,9 до 5,3 мкм (при  $\alpha = 0,2$ ) и с 6,6 до 4,7 мкм (при  $\alpha = 0,3$ ). При этом размер «зерен» в частицах СОК не превышает 90 нм, что подтверждает плазмохимический синтез наноразмерных СОК из растворов ВОНР.

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. Novoselov I.Yu., Karengin A.G., Babaev R.G. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 1938. – P. 1-5.

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДИСПЕРСИОННОЕ REMIX-ТОПЛИВО

Каренгин А.А., Кузнецов С.Ю., Иванов К.С.

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

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

E-mail: karengin@tpu.ru

Применяемое на АЭС керамическое ядерное топливо из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет наряду с несомненными достоинствами и существенные недостатки: низкая теплопроводность, которая ограничивает удельную мощность реактора по температуре плавления, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), ограниченный ресурс изотопа уран-235.

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития ядерной энергетики является использование регенерированного урана, обогащенного по изотопу уран-235, для изготовления дисперсионного REMIX-топлива в виде диоксида урана, равномерно распределенного в оксидной матрице с высокой теплопроводностью и низким сечением резонансного поглощения нейтронов [1].

Общими недостатками применяемых методов получения оксидных композиций (золь-гель процесс, раздельное получение и механическое смешение) являются: многостадийность, неравномерное распределение фаз, необходимость использования большого количества химических реагентов, высокие энерго- и трудозатраты [2].

К несомненным преимуществам применения плазмы для плазмохимического синтеза в воздушно-плазменном потоке оксидных композиций (ОК) из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны) и водные нитратные растворы, являются: одностадийность, высокая скорость, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энерго- и трудозатраты [3].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза ОК «UO<sub>2</sub>-MgO» из диспергированных модельных растворов ВОНР, включающих ацетон и смешанные водные нитратные растворы неодима (вместо урана) и магния.

Подготовленные растворы ВОНР подавались (300 л/час) через диспергатор в реактор плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона, где в воздушно-плазменном потоке при рабочей температуре 1000-1100 °С осуществлялся синтез ОК, далее в узле «мокрой» очистки (УМО) происходило их резкое охлаждение («закалка») с образованием водных суспензий ОК, которые отстаивали, фильтровали и прокаливали в течение 20 минут при температуре 150 °С.

В ходе исследований проводились лазерная дифракция водных суспензий ОК, сканирующая электронная микроскопия, БЭТ-анализ и рентгенофазовый анализ полученных порошков.

Установлено, что при расходе воды на «закалку» ОК (2,8 кг/с) и частоте вращения ротора диспергатора (35 Гц), увеличение содержания матрицы (MgO) в составе ОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» (5%, 10%, 15%, 20%, 30% и 50%), ведет к образованию частиц ОК в водных суспензиях размером 13,0 мкм; 9,4 мкм; 7,3 мкм; 6,8 мкм; 5,1 мкм и 4,7 мкм соответственно. При этом удельная поверхность полученных порошков составляет 19,5; 18,0; 17,1; 15,2; 14,6 и 11,2 м<sup>2</sup>/г а размер «кристаллитов» в частицах ОК – 39; 42; 45; 53; 56; 73 и 123 нм., что подтверждает возможность плазмохимического синтеза наноразмерных ОК из диспергированных растворов ВОНР.