

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

А.А. Каренгин, А.С. Пшеничников, В.И. Расторгуев

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

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, karengin@tpu.ru*

Приоритетным направлением развития ядерной энергетики в России является создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, использующих дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде топливных оксидных композиций (ОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, плутоний, торий) распределенных в матрице с высокой теплопроводностью и низким сечением резонансного поглощения нейтронов [1].

К преимуществам плазмохимического синтеза таких ОК из водно-органических нитратных растворов (ВОНР), имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг, следует отнести: одностадийность, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие удельные энергозатраты [2].

Экспериментальные исследования процесса плазмохимического синтеза топливных ОК в воздушно-плазменном потоке проводились на плазменном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01» на модельных растворах ВОНР, включающих органический компонент (ацетон), водные нитратные раствора металла матрицы (магний), а также неодима и самария, имеющих близкие свойства с делящимися металлами (уран и плутоний), и моделирующих плазмохимический синтез оксидных композиций « $UO_2-PuO_2-MgO$ ».

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 пыле-парогазовая смесь поступала в узел «мокрой» очистки (УМО), где происходило ее резкое охлаждение (закалка) с получением водных суспензий из

порошков ОК, которые отстаивали, полученные осадки отделяли, фильтровали и прокаливали 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 доли матрицы (MgO) от 5 до 50% в составе ОК « $Sm_2O_3-Nd_2O_3-MgO$ » (при  $\alpha = Sm_2O_3 / (Sm_2O_3 + Nd_2O_3) = 0,1$ ), приводит, при постоянном расходе воды на закалку ОК (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (50 Гц) к снижению размера ОК с 13,5 мкм до 4,3 мкм (метод лазерной дифракции). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 10,1 м<sup>2</sup>/г до 21,0 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК снижается с 79 нм до 38 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение доли матрицы (MgO) от 5% до 50% в составе ОК (при  $\alpha = 0,2$ ), также приводит к снижению размера ОК с 12,9 до 5,3 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 10,0 м<sup>2</sup>/г до 12,6 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц (зерен) в составе ОК снижается с 79 нм до 63 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение доли матрицы (MgO) от 5% до 50% в составе ОК (при  $\alpha = 0,3$ ), также приводит к снижению размера образующихся ОК с 6,6 до 4,7 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК также уменьшается с 15,2 м<sup>2</sup>/г до 11,9 м<sup>2</sup>/г (БЭТ-анализ).

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

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза наноразмерных топливных оксидных композиций для уран-плутониевого 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.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА КОНЕЧНЫЕ СВОЙСТВА ГРАФИТОВЫХ ТАБЛЕТОК

Е.В. Колесников

Научный руководитель – д.т.н., профессор Д.Г. Видяев

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

В настоящее время атомная энергетика развивается бурными темпами из-за ряда преимуществ перед углеводородной энергетикой. Перспективным топливом для ядерных реакторов служит дисперсионное ядерное топливо. Дисперсионным ядерным топливом называется специальное однородное по составу, содержащее две и более фазы, одна из которых ядерное топливо, а другой специальный нетопливный элемент, называемый матрицей. В данной работе в качестве материала матрицы предлагается использование графита.

Главным требованием, предъявляемым к материалу матрицы – это сохранность его от радиационного повреждения осколками деления. Именно поэтому важны конечные свойства полученных путем спекания и прессования графитовых таблеток. Исследование проводилось путем сравнения параметров спрессованных таблеток из чистого графита и при добавлении пластификаторов. В качестве пластификаторов использовались фторопласт и стеарат натрия.

При добавлении фторопласта были использованы следующие концентрации на 10 мл воды: 50, 75, 100 и 150 мкл Ф4 и 1 г графита. Для более быстрого и качественного перемешивания использовались магнитная мешалка и нагревательный элемент. После полученная смесь прокаливалась с помощью нагревательного элемента.

Для качественного перемешивания графита и стеарата натрия использовался этиловый спирт. На 0,485 г графита добавлялось 0,015 г стеарата натрия. После перемешивания спирт

выпаривался с помощью нагревательного элемента.

Прессование проводилось для образцов чистого графита и с добавлением пластификаторов по 0,2 г при давлении в 20 и 100 МПа. В среднем потери по массе при прессовании составили 0,007 г. Это происходило вследствие налипания образцов на шихту.

Для чистого графита плотность при давлении в 20 МПа составила  $0,98 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ , а при давлении 100 МПа  $1,193 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . Для графита с добавлением стеарата натрия плотность при давлении в 20 МПа составила  $1,017 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ , а при давлении 100 МПа  $1,17 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . При прессовании графита с добавлением фторопласта возникли трудности, связанные с тем, что большая часть образца оставалась не спрессованной, а налипшей на шихту. Наши предположения заключались в том, что это связано с недостаточным обезвоживанием образцов смеси графита и фторопласта, а также с высокой концентрацией фторопласта в образце.

Для более тщательного обезвоживания без потерь на окисление графита была проведена сушка в печи с аргоновой средой. Предварительно была построена установка для сушки технического аргона с помощью силикагеля.

После сушки образцов в печи было проведено повторное прессование образцов с добавлением фторопласта. Предположение оказалось верным и полученные таблетки были полностью спрессованы. Практически отсутствуют потери графита на налипание в шихте.