

кой диэлектрической проницаемостью (использовали этиленкарбонат, ЕС, с  $\epsilon=89,78$ ) и соразтворители с низкой вязкостью (использовали сложный эфир – бутилацетат, ВА).

Введение в электролит 1 М ТЕА ТFB/PC 20% соразтворителя ЕС приводит к увеличению электропроводности на 25%, при этом ёмкость и энергетические характеристики СК практически не меняются. Однако вязкость такого электролита на основе смеси (PC+ЕС) остается высокой. Для снижения вязкости в эту смесь был введен третий компонент, обладающий более низкой вязкостью – бутилацетат,  $\eta=0,68$  мПа·с. Так как ВА имеет низкую диэлектрическую проницаемость  $\epsilon=5,1$ , электропроводность электролита понижается, однако ёмкостные и энергетические характеристики повышаются (ёмкость с 90 до 120 Ф/г, а удельная энергия с 21 до 29 Вт·ч/кг).

Далее было проведено длительное циклирование СК с разработанным электролитом при комнатной и повышенной температуре. При комнатной температуре СК сохраняет стабильные характеристики в течение более чем 10000 циклов заряда-разряда. При повышенной до 85 °С температуре и было показано, что работа электролита на основе смеси PC с соразтворителями демонстрирует наименьшее падение ёмкости. Однако наблюдаются скачкообразные изменения ёмкостных характеристик и сопротивления, которые свидетельствуют о недостаточной термической стабильности компонентов электролита. Таким образом, хотя введение соразтворителей приводит к повышению электрохимических параметров при комнатной и повышенной температуре, состав электролитов требует дальнейшей оптимизации.

### Список литературы

1. *Dunn B., Kamath H., Tarascon J.M. // Science, 2011. – V. 334. – №6058. – P. 928–935.*
2. *Стаханова С.В., Астахов М.В., Пунтусова Л.А., Галимзянов Р.Р., Кречетов И.С.,*

*Лисицин А.В., Свириденкова Н.В. // Бутлеровские сообщения, 2020. – Т. 61. – №1. – С. 67–75.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДИСПЕРСИОННОГО МОХ-ТОПЛИВА

В.И. Расторгуев, И.Ю. Новоселов, А.Е. Тихонов  
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент ИЯТШ А.Г. Каренгин

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

Для ядерной энергетики многих стран, в том числе РФ, перспективным направлением дальнейшего развития становится создание дисперсионного МОХ-топлива, которое содержит оксиды урана и плутония, которые равномерно распределены в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и низкое поперечное сечение поглощения нейтронов [1]. Использование изотопов уран-238 и плутоний-239 не потребует дорогостоящего изотопного обогащения и позволит повторно использовать для изготовления МОХ-топлива уран и плутоний из отработавшего ядерного топлива.

Применение воздушной плазмы для плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций (СОК) из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР). ВОНР представляет собой смесь водных азотнокислых

растворов металлов и органического компонента (спирты, кетоны). Использование ВОНР позволяет достичь одностадийности и высокой скорости процесса, активно влиять на размер частиц и их форму, получить равномерное распределение и требуемый состав получаемых фаз без дополнительного водородного восстановления, низкие энерго- трудозатраты [2].

Исследования процесса плазмохимического синтеза СОК, имитирующих дисперсионное МОХ-топливо, проводились на плазменном модуле на растворах ВОНР, включающих ацетон, водные нитратные растворы металла матрицы (магний), а также неодима (вместо урана) и самария (вместо плутония), имеющих близкие физико-химические свойства с делящимися металлами.

Подготовленные растворы ВОНР подавались в диспергатор (300 л/ч) и далее поступали в реактор, где в воздушно-плазменном потоке происходил синтез СОК «оксид неодима–оксид самария–оксид магния» при температуре  $1100 \pm 50^\circ\text{C}$ , которая контролировалась цифровым инфракрасным пирометром. После реактора пыле-парогазовая смесь направлялась в узел «мокрой» очистки отходящих газов для закалки с получением водных суспензий СОК, которые отстаивали, осадки отделяли, фильтровали, прокаливали 30 минут при температуре  $150^\circ\text{C}$  и направляли для исследования их физико-химических свойств.

Установлено, что увеличение доли матрицы от 5% до 50% в составе СОК « $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-Nd}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ » приводит при расходе оборотной воды на закалку СОК ( $Q_{\text{об}} = 2,8$  кг/с), частоте вращения ротора диспергатора ( $f_{\text{д}} = 50$  Гц) и  $\alpha = \text{Sm}_2\text{O}_3 / (\text{Sm}_2\text{O}_3 + \text{Nd}_2\text{O}_3) = 0,1$  к снижению размера частиц СОК в водной суспензии с 13,5 мкм до 4,3 мкм (метод лазерной дифракции). Удельная поверхность полученных порошков СОК увеличивается с  $10,4$  м<sup>2</sup>/г до  $21,0$  м<sup>2</sup>/г, а размер кристаллитов в их составе снижается с 79 нм до 38 нм (БЭТ-анализ).

### 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. – Vol. 1938, Article number 020016. – P. 1–5.*

## ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ СВ-СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНОГО ДИСУЛЬФИДА ВОЛЬФРАМА НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ

К.А. Рахимбеков

Научный руководитель – д.х.н. В.В. Ан

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, 30, an\_vladimir@tpu.ru; kar18@tpu.ru*

С развитием технологии и расширением области применения наноматериалов дисульфида вольфрама, всё больше возрастает интерес к изучению физико-химических свойств и её получению. Многообразие методов получения, так и строений, и форм наночастиц дисульфида ставит всё новые задачи перед исследователями. Методы получения наночастиц дисульфида вольфрама с трибологическими свойствами по-

Увеличение доли матрицы от 5% до 50% в составе СОК « $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-Nd}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ » (при  $Q_{\text{об}} = 2,8$  кг/с,  $f_{\text{д}} = 50$  Гц,  $\alpha = 0,2$ ), также приводит к снижению размера частиц СОК в водной суспензии с 12,9 до 5,3 мкм. Удельная поверхность полученных порошков также увеличивается с  $10,0$  м<sup>2</sup>/г до  $12,6$  м<sup>2</sup>/г, а размер кристаллитов в их составе снижается с 79 нм до 63 нм.

Увеличение доли матрицы от 5% до 50% в составе СОК « $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-Nd}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ » (при  $Q_{\text{об}} = 2,8$  кг/с,  $f_{\text{д}} = 50$  Гц,  $\alpha = 0,3$ ) также приводит к снижению размера частиц СОК в водной суспензии с 6,6 до 4,7 мкм. Удельная поверхность полученных порошков уменьшается с  $15,2$  м<sup>2</sup>/г до  $11,9$  м<sup>2</sup>/г. Это позволяет утверждать, что полученные порошки также являются наноразмерными.

Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза наноразмерных сложных оксидных композиций для дисперсионного МОХ-топлива.

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

казано во многих литературных обзорах. Так же как метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза дисульфида вольфрама под давлением аргонового газа 3 МПа [1].

Цель работы: исследование влияние увеличения давления самораспространяющегося высокотемпературного синтеза наноразмерного дисульфида вольфрама на скорость горения.