

Одним из вариантов, удовлетворяющих многим из этих условий, является газотурбинный модульный гелиевый реактор (ГТ-МГР), относящийся к высокотемпературным газоохлаждаемым реакторам (ВТГР). Отличительными особенностями ГТ-МГР являются потенциально довольно высокий КПД, повышенная безопасность по сравнению с ВВЭР, а также в потенциал использования торий-уранового и уран-плутониевого топливных циклов.

В настоящей работе проведён анализ нейтронно-физических свойств и проектных характеристик реактора ГТ-МГР, на основе чего подготовлены данные для решения уравнения диффузии нейтронов многогрупповым методом. Построен спектр плотности потока нейтронов итерационным методом, показавшим сходимость. Из полученного спектра определена плотность потока повреждающих нейтронов.

Проведена оценка изменения спектра плотности потока повреждающих нейтронов с течением кампании ядерного топлива, которая составила 1050 эффективных суток, что согласовывается с проектными данными в 1080 эффективных суток.

Определён выработанный ресурс реакторного графита в двух случаях: при отсутствии коэффициентов неравномерности плотности потока нейтронов по активной зоне и при наличии аксиального коэффициента неравномерности. При этом в первой ситуации графит марки ГР-280 практически вырабатывает свой ресурс, в связи с чем предложена концепция проведения перегрузки топливных блоков в середине кампании, что позволило снизить максимальный выработанный ресурс в обоих случаях примерно на 30 %: с 99,3 % до 67,3 % и с 79,5 % до 57,4 % при отсутствии и наличии аксиального коэффициента неравномерности соответственно.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ**

А.А. Кузнецова, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: aak264@tpu.ru

Одним из приоритетных направлений развития атомной энергетики в России является создание высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для получения водорода в процессе паровой конверсии метана. Применяемое ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет низкую теплопроводность, высокую хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет) и ограниченный ресурс по изотопу уран-235.

Перспективным является дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, торий и др.), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения нейтронов [1].

Применяемые методы получения ТОК (раздельное получение и механическое смешение, «золь-гель» и др.) многостадийны, продолжительны, дают неравномерное распределение фаз, требуют использования химических реагентов, имеют высокие энерго- и трудозатраты.

Применение воздушной газоразрядной плазмы для плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз без дополнительного водородного восстановления [2].

В работе представлены результаты исследования процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные

растворы делящихся (уран, торий) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций «диоксид урана – диоксид тория – оксид магния».

Полученные результаты могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для уран-ториевого дисперсионного ядерного топлива для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для производства водорода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
2. Шаманин И.В., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Новоселов И.Ю. Плазмохимический синтез и исследование наноразмерных оксидных композиций, имитирующих уран-ториевое дисперсионное ядерное топливо // Атомная энергия. – 2021. – Т. 131. – №. 1. – С. 46-49.

### ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАНОВОГО ТОЛЕРАНТНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

С.Ю. Кузнецов, А.А. Каренгин, Д.М. Беляков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sergey\_kuz\_0908@mail.ru

Основу атомной энергетики в России в XXI веке еще будут составлять АЭС с реакторами на тепловых нейтронах, использующих керамическое ядерное топливо из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, у которого наряду с достоинствами есть и серьезный недостаток – низкая теплопроводность [1].

В аварийных ситуациях без охлаждения это приведет к повышению температуры топлива, развитию пароциркониевой реакции циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов и их разрушению. Решением этой проблемы является создание устойчивого к аварийным ситуациям толерантного ядерного топлива (Accident Tolerant Fuel) [2].

Представляет интерес использование уранового ATF-топлива в виде диоксида урана, равномерно распределенного в оксидной матрице с высокой теплопроводностью и низким поперечным сечением поглощения нейтронов. Плазмохимический синтез топливных оксидных композиций (ТОК) в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны), имеет, в отличие от применяемых методов (раздельное получение и механическое смешение, золь-гель и др.), следующие преимущества: одностадийность, высокая скорость, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих ацетон и смешанные водные нитратные растворы неодима (вместо урана) и магния.

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

Установлено, что при расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (35 Гц) увеличение содержания матрицы в виде оксида магния 5, 10, 15, 20, 30 и 50 % в составе ТОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» приводит: соответственно к образованию частиц ТОК в водных суспензиях размером 13,0; 9,4; 7,3; 6,8; 5,1 и 4,7 мкм. 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 «зерен» в