



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 14.06.01 Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и
сопутствующие технологии

Школа ИЯТШ

Отделение ОЯТЦ

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
Технология получения интерметаллидных матриц для дисперсионного ядерного топлива на основе систем Zr-Al и Ni-Al методом СВ-синтеза

УДК 621.039.54-4:546.3-19:66.091

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A9-43	Пермикин Антон Андреевич		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Беденко Сергей Владимирович	к.ф-м.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры	Горюнов Алексей Германович	д.ф-м.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Долматов Олег Юрьевич	к.ф-м.н.		

Общая характеристика работы

Научно-квалификационная работа посвящена исследованию процесса получения интерметаллидных матриц для дисперсионного ядерного топлива методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Работа состоит из введения, четырёх частей, заключения, списка используемых источников и приложений. Работа изложена на 76 машинописных страницах текста, включая 40 рисунка, 6 таблиц, 60 источников и 2 приложений.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, СВС, интерметаллиды, дисперсионное ядерное топливо, ядерная техника, физика горения.

Актуальность

Традиционно в ядерных энергетических установках в качестве топлива используется диоксид урана UO_2 . Основным недостатком такого топлива, не смотря на все его преимущества, является низкий коэффициент теплопроводности – порядка $2,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при рабочих температурах, что накладывает ограничения на турбинные генераторы и виды теплоносителя, применяемые в таких установках.

Перспективным видом ядерного топлива, которое позволит эксплуатировать установку в более высоких температурных режимах, и повысить КПД турбинного цикла, является дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ). Оно представляет из себя функциональный матричный материал с диспергированными в него топливными частицами. В качестве матрицы предпочтительно использовать интерметаллидные соединения, ввиду высоких теплофизических характеристик.

Работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи – получение перспективных матричных материалов для дисперсионного ядерного топлива. Предметом исследования является процесс твердофазного горения сложных систем. Решение проблем в понимании физико-химических процессов, протекающих при синтезе сжиганием в таких системах, позволяет контролировать свойства и состав получаемых материалов.

Традиционные методы порошковой металлургии, применяемые для получения интерметаллидных соединений, осложнены аппаратным исполнением и дороговизной технологии. Использование метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволит избежать данных проблем, так как при синтезе используется энергия химических реакций, а не подвод её из вне. Выбранные системы (Ni-Al и Zr-Al) являются легкозажигаемыми, даже при синтезе образцов с 50 % инертной добавки сохраняется их механическая прочность и сплошность, следовательно, присутствие топливной фазы в шихте не ограничивает возможность создания ДЯТ этим методом. Различие в свойствах конечного продукта при различных режимах проведения СВ-синтеза позволит выбрать такой режим, при котором будут достигнуты необходимые свойства матрицы ДЯТ.

Таким образом, целью работы является отработка технологии получения интерметаллидных матриц на основе систем Zr-Al и Ni-Al методом СВ-синтеза, а также построение модели активации данных матриц под действием нейтронного излучения.

Научная новизна:

Впервые предлагается использование метода СВ-синтеза для получения дисперсионного ядерного топлива с интерметаллической матрицей, что в перспективе, позволит обеспечить повышение экономической эффективности эксплуатации АЭС при росте уровня надежности и безопасности.

Научно-практическая значимость:

Предложены и разработаны оригинальные экспериментальные методики и оборудование для исследования пирометрических закономерностей при получении матриц ДЯТ с использованием СВ-синтеза.

Показана возможность качественного и количественного исследования процессов активации матриц нейтронным облучением, а также теплофизических характеристик при эксплуатации топлива.

По результатам экспериментов достигнуто 90% содержание целевых фаз в матрицах.

Защищаемые научные положения достаточно подробно раскрыты в НКР. Основные результаты работы в полном объеме опубликованы в рецензируемых журналах, а также представлены на конференциях различного уровня.

Методология и методы исследования:

применение математического моделирования процесса СВС основанного на двумерном нестационарном уравнении теплопроводности в цилиндрических координатах с объёмным источником тепла. Численно-экспериментальный подход с применением системы автоматизированного проектирования (Solidworks) для моделирования температурных режимов реакторной установки ВВЭР с ДЯТ;

эксперименты по получению интерметаллидных соединений Ni-Al и Zr-Al, на пирометрическом стенде включающим в себя СВС-реактор;

математическое моделирование процесса активации матриц, на основе дифференциальных уравнений, описывающих ядерные превращения при нейтронном облучении, с использованием математического пакета Wolfram Mathematica;

определение фазового состава образцов с помощью метода рентгенофазового анализа на рентгенофазовом дифрактометре Shimadzu XRD 6000.

Материалы работы докладывались на следующих конференциях:

VIII Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий», 15-20 апреля 2019г., МИФИ, г. Москва;

II Международная научная конференция «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития» (SEWAN-2019), г. Иркутск, 16-20 сентября 2019г. (сертификат участника);

Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», г. Томск, октябрь 2019г;

48-ая научная конференция с международным участием «Неделя науки СПбПУ», Санкт-Петербург, ноябрь 2019г;

XVII Всероссийская с международным участием школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова, Исман, 16-18 октября 2019г;

XVIII Всероссийская с международным участием школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых имени академика А.Г. Мержанова, Исман, 16-18 октября 2020г.

Основные положения диссертации опубликованы в 13-и работах, из которых 2 в журналах перечня ВАК и 3 работа, индексируемая в международных базах данных WOS и Scopus.

Во введении приведена актуальность работы, степень разработанности темы, цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой части научно-квалификационной работы проведён литературный обзор по тематике исследования. Выдвинута гипотеза о возможности использования матриц на основе систем Ni-Al и Zr-Al для дисперсионного ядерного топлива, предложен метод его получения – СВС.

Вторая часть посвящена моделированию распространения волны горения при СВС для рассматриваемых систем. защитных свойств боридов вольфрама от нейтронного излучения.

В третьей части производится подбор схемы подготовки и проведения синтеза, а так же моделирования процесса активации матриц нейтронным излучением.

В четвёртой части описано теплофизическое моделирование в процессе эксплуатации ДЯТ с интерметаллидной матрицей.