

## ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.04, старшего научного сотрудника Научно-исследовательской лаборатории СВЧ-технологии Инженерной школы ядерных технологий, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,

доктора технических наук,

Мостовщикова Андрея Владимировича,

на диссертацию Семенова Андрея Олеговича

**«Получение материала на основе алюмината неодима для иммобилизации актиноидной фракции радиоактивных отходов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

### **Актуальность диссертационного исследования.**

Необходимость изоляции наиболее биологически опасных и долгоживущих радионуклидов от окружающей среды в течение длительного времени и стремление сократить срок обслуживания мест хранения приводят к неизбежности разработок инновационных технологий и современных материалов, предназначенных для иммобилизации РАО и последующего хранения в течение всего времени, необходимого для уменьшения активности до приемлемых значений. Современный подход к обращению с отходами, содержащими актиноидные фракции отработанного ядерного топлива, направлен на перевод радионуклидов в химически- и радиационно-устойчивые формы, сохраняющие свою стабильность на протяжении всего периода захоронения. Технология остекловывания, как основной действующий способ иммобилизации, не может гарантировать устойчивость и надежность сохранения ВАО в течение нескольких тысяч лет ввиду неудовлетворительной химической устойчивости стекол. Альтернативой является применение кристаллических матрицы типа перовскит. Такие минералы-компаунды способны на протяжении всего периода хранения надежно удерживать в себе высокоактивные фракции радиоактивных отходов, однако их использование затруднено ввиду отсутствия промышленных технологий изготовления. Соответственно разработка метода получения матричного материала на основе перовскитного алюмината является актуальной задачей.

### **Краткое содержание работы.**

Структура диссертационной работы Семенова А.О. традиционна и изложена на 135 страницах, содержит 20 рисунков и 46 таблиц. Работа состоит из введения, литературного обзора (гл. 1), методологической части (гл. 2), технологической (гл. 3) и экспериментальной (гл. 4) частей, выводов и списка литературы (147 ссылок).

**Во введении** представлено обоснование цели и задач исследования.

**В первой главе** представлены наиболее распространенные методы обращения с радиоактивными отходами, описаны их свойства, достоинства и недостатки, показаны основные способы их получения. представления о способах и методах обращения с актиноидной фракцией радиоактивных отходов.

**Во второй главе** описана характеристика исходным материалов, используемых для синтеза методом СВС, представлены основные методы исследования, используемые в диссертации, изложены техники проведения экспериментов и приведена методологическая схема работы.

**В третьей главе** описаны основы метода получения матричного материала на основе алюмината неодима методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Описана процедура термодинамического расчета возможности синтеза материала в режиме технологического горения. На основании критериального подхода осуществления СВ-синтеза обосновано использование дополнительной СВС-реакции в качестве источника нагрева

исходных реагентов реакции образования алюмината неодима. Установлены критические параметры реакции горения, при которых возможно образование целевой фазы. Описаны режимы горения СВС-системы при варьировании параметров шихты. Методом рентгенофазового анализа установлено наличие перовскитной фазы в синтезируемых образцах. На основании полученных результатов представлена технологическая схема синтеза матричного материала.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментов по определению физико-механических и физико-химических свойств синтезированного матричного материала. Исследованы процессы выщелачивания водными средами в соответствии с методикой МСС-1. Показано влияние взаимодействия ионизирующего излучения на характеристики и структуру алюмината неодима в алюминийникелевом каркасе. Доказана эффективность разрабатываемого материала в качестве иммобилизационной матрицы актиноидной фракции радиоактивных отходов.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы по работе.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертационной работы.

#### **Научная новизна.**

В первую очередь, к научной новизне, можно отнести результат поиска нового эффективного способа получения перспективного матричного материала на основе алюмината неодима. Впервые по результатам термодинамического расчета, основанного на определении адиабатической температуры горения, показана возможность синтеза алюмината неодима методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и установлены критические параметры, при которых возможен процесс горения и образования  $\text{NdAlO}_3$ : массовое включение компонентов  $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  в систему  $\text{Ni-Al}$  – не более 46 масс.%, начальная температура подогрева – 700 К. Установлено влияние плотности исходной шихты и массового содержания реагирующих компонентов алюмината неодима на СВС. Стационарное распространение волны горения наблюдается при плотностях системы 4,8-5,2 г/см<sup>3</sup> и включении до 40 % масс. системы  $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Дальнейшее повышение плотности приводит к потере устойчивости волны горения, а увеличение содержания реагирующих компонентов – к появлению локальных очагов горения с последующим затуханием. Изучено влияние массового содержания реагирующих компонентов оксидов алюминия и неодима в исходной шихте на фазовый состав матричных материалов, полученных СВС методом. Определено оптимальное массовое содержание системы  $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ , позволяющее получить материал, содержащий до 41,5% масс. алюмината неодима. Установлена динамика изменения основных матричных характеристик вследствие воздействия потоков ионизирующего излучения при имитации долговременного хранения материала на протяжении 1000 лет: снижение гидролитической устойчивости составляет 10 – 13%; изменение пределов прочности не более 7%.

#### **Практическая значимость.**

Данная диссертационная работа имеет большую практическую значимость: разработан метод получения матричного материала на основе алюмината неодима со структурой перовскита методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, обладающего повышенными гидролитическими характеристиками, по сравнению с традиционными боросиликатными и алюминофосфатными стеклами. Его применение позволяет получить матрицы в виде изделия пригодного для захоронения в геологических формациях без дополнительных операций. Полученные в ходе диссертационного исследования данные позволяют использовать их для проектирования установки синтеза матричного материала и её дальнейшего масштабирования.

#### **Степень достоверности результатов работы.**

Достоверность и обоснованность экспериментальных данных, полученных в диссертационной работе, обеспечивается проведением исследований с использованием современного аналитического и технологического оборудования, применением комплексных методов исследования материалов, повторяемостью эксперимента.

Все положения, выносимые на защиту, обоснованы экспериментально.

### Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности.

Материалы диссертации и автореферата соответствуют формуле специальности и пунктам 6, 7 паспорта научной специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

### По диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

1. По каким критериям осуществлен выбор имитатора радиоактивных отходов. Будет ли наблюдаться существенное расхождение скоростей выщелачивания при использовании актиноидов? Возможна ли иммобилизация других фракций радиоактивных отходов материалом, разработанным в диссертационном исследовании?
2. В тексте диссертации отсутствуют сведения о влиянии исходных характеристик порошков различных марок на самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Вместе с тем, оценки количества и содержания примесей, дисперсности, а также распределения частиц по размерам были бы полезными для более полного понимания физики и химии протекающих процессов.

Замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации. Поставленная цель достигнута, и задачи исследования выполнены. В работе приведен достаточный объем экспериментальных данных, интерпретация и представление которых подтверждает обоснованность сделанных выводов.

### Заключение.

Работа выполнена на хорошем уровне, содержит большой теоретический и экспериментальный материал, проработку научной новизны и практической значимости. По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, практической значимости полученных результатов, уровню апробации и публикации основных положений в печати представленная работа соответствует п.п. 2.1-2.5 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ 362-1/од от 28.12.2021 г. (dis.tpu.ru), а Семенов Андрей Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Согласен на обработку персональных данных.

Доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
Научно-исследовательской  
лаборатории СВЧ-технологии  
Инженерной школы ядерных  
технологий,  
Томский политехнический университет

21.03.2022  
(дата) (подпись)

Мостовщиков Андрей Владимирович

Подпись Мостовщикова Андрея Владимировича заверяю,

Ученый секретарь ТПУ

Кулинич Екатерина Александровна

(подпись)