

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и
трансферу технологий ФГАОУ ВО
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет

Д.Ф. М.Н. Л.Г. Сухих
« 17 » декабря 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
(ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

Диссертация «Получение материала на основе алюмината неодима для иммобилизации актиноидной фракции радиоактивных отходов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза» выполнено в отделении ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Семенов Андрей Олегович работал в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Инженерная школа ядерных технологий, отделение ядерно-топливного цикла, старший преподаватель.

В 2008 году окончил Национальный исследовательский Томский политехнический университет по специальности «Ядерные реакторы и энергетические установки».

Справки о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2021 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель: Долматов Олег Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент отделения ядерного топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Общая характеристика работы

Диссертация Семенова Андрея Олеговича представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в области самораспространяющегося высокотемпературного синтеза системы Ni-Al при включении в нее реагирующих добавок оксидов алюминия и неодима, используемых в качестве реагентов образования алюмината неодима. Проведенные исследования позволили установить оптимальные параметры подготовки шихты компонентов и условия проведения СВС для максимально возможного включения имитатора актиноидной фракции радиоактивных отходов, доказали превосходство разработанного материала в области устойчивости к процессам выщелачивания по сравнению с традиционно применяемыми боросиликатными и алюминофосфатными стеклами. Полученные экспериментальные и теоретические результаты, сформулированные выводы обладают единством изложения результатов выполненных исследований. Оформление и стиль написания диссертации отвечают требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Актуальность работы

Искусственные аналоги природных минералов типа перовскит являются перспективными материалами для иммобилизации актиноидных фракций высокоактивных отходов атомной промышленности. Такие матрицы обладают свойствами и характеристиками, намного превышающими существующие материалы, используемые при обращении с радиоактивными отходами. Широкое применение перовскитных материалов ограничено отсутствием промышленных технологий их получения, а предлагаемые способы синтеза обладают рядом существенных недостатков – сложными технологическими процессами, высокими энергетическими затратами и т.д.; требуется поиск новых, более совершенных способов получения такого материала.

В значительной части существующие исследования по синтезу иммобилизационных матричных материалов рассматривают сложно-реализуемые химические превращения, требующие создания определенных условий протекания и применения комплексных систем с большим исходным числом реагентов. Сведений об экспериментальном исследовании и промышленном освоении метода СВС алюминатных перовскитных матриц в литературе не обнаружено.

Актуальность работы заключается в необходимости разработки технологических основ самораспространяющегося высокотемпературного синтеза искусственного матричного материала на основе алюмината неодима.

Тематика исследования соответствует приоритетному направлению развития науки, техники и технологий в Российской Федерации (указ Президента РФ № 899 от 7 июня 2011 г.) «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также программе Российской Федерации «Развитие атомного промышленного комплекса» (Постановление правительства РФ №289-13 от 16.03.2020 г.),

находится в сфере критических технологий федерального уровня «Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом», так как применение перовскитоподобных иммобилизационных матриц позволяет существенно (кратно) повысить безопасность хранения радиоактивных отходов в течении всего периода обращения.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад автора состоит в формулировании задач диссертационных исследований, проработке литературы по теме диссертации, планировании экспериментов, разработке методик, проведении опытов, обработке результатов экспериментальных и теоретических исследований, анализе и обобщении экспериментальных данных, разработке рекомендаций использования результатов исследований, формулировке защищаемых положений и выводов, оформлении и подготовки результатов к публикации.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность и обоснованность экспериментальных данных, полученных в диссертационной работе, обеспечивается проведением исследований с использованием современного аналитического и технологического оборудования, применением комплексных методов исследования материалов, удовлетворительной повторяемостью опытов при идентичных начальных условиях.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

- Впервые по результатам анализа 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 NdAlO_3 : массовое включение компонентов $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ в систему 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-процесс. Стационарное распространение волны горения наблюдается при плотностях системы 4,8-5,2 г/см³ 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 гидrolитической устойчивости составляет 10 – 13%; изменение пределов прочности не более 7%.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Разработан метод получения матричного материала на основе алюмината неодима со структурой перовскита методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, обладающего повышенными гидrolитическими характеристиками по сравнению с традиционными боросиликатными и алюминофосфатными стеклами. Использование технологии позволяет получить иммобилизационные матрицы в виде изделия, пригодного для захоронения в геологических формациях без дополнительных операций.

Результаты исследования внедрены и используются Учебно-научным центром «Исследовательский ядерный реактор», а также в учебном процессе в Национальном Исследовательском Томском Политехническом Университете при подготовке выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций студентов, обучающихся по направлению «Ядерные физика и технологии».

Апробация работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях и симпозиумах регионального, всероссийского и международного уровней:

- XX всероссийская с международным участием школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых (2012),
- XX Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» (2014),
- XIII всероссийская с международным участием школа – семинар по структурной макрокинетике для молодого ученого имени академика А.Г. Мержанова (2015),
- VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (2016) и др.
- Научная сессия НИЯУ МИФИ «Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий» (2017),
- XV Всероссийская с международным участием школа–семинар по структурной макрокинетике для молодого ученого имени академика А.Г. Мержанова (2017),
- XV International Symposium on Self-Propagating High-Temperature Synthesis (2019),
- II Всероссийская научно-методическая конференция «Современные технологии, экономика и образование» (2020),
- X Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине. Российский и международный опыт подготовки кадров» (2020).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Результаты диссертационных исследований опубликованы в 20 работах, включая 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ; 4 статьи в изданиях, индексируемых базой данных SCOPUS и WoS; 9 публикациях в сборниках международных и российских конференций; 1 патент РФ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Semenov A.O.** Self-Propagating High-Temperature Synthesis and Properties of the Material Based on Neodymium Aluminate for Immobilization of High-Level Radioactive Wastes / Semenov A.O., Dolmatov O.Y., Kuznetsov M.C. // Chemistry for Sustainable Development. — 2021. — Vol. 3. — pp.359-367.
2. **Semenov A.O.** Development of matrix material based on aluminate perovskite for immobilization of actinides by self-propagating high-temperature synthesis / Semenov A.O., Dolmatov O.Yu., Kuznetsov M.S. // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. — 2021. — Vol. 332. — iss. 10. — pp. 160-170.
3. **Semenov A.O.** Effect of the Compaction Pressure and Ni Content on the Modified Aluminum-Based Perovskite Synthesis Designed to Immobilize the Radioactive Waste in Combustion Mode / E. S. Tarasova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 135 : Issues of Physics and Technology in Science, Industry and Medicine. — 012046, 5 p.
4. **Semenov A.O.** Synthesis and properties of the materials obtained by SHS mode for radiation protection / D. S. Isachenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 135 : Issues of Physics and Technology in Science, Industry and Medicine. — 012015, 5 p.
5. **Семенов, А.О.** Иммобилизация актиноидной фракции радиоактивных отходов в перовскитоподобную матрицу методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / О. Ю. Долматов [и др.] // Атомная энергия – 2021. — Т.131. — № 1. — С. 12-15.
6. **Семенов, А.О.** Разработка матричного материала для иммобилизации радиоактивных отходов на основе модифицированного перовскита в режиме технологического горения / О. Ю. Долматов [и др.] // Фундаментальные исследования : научный журнал. — 2016. — № 5, ч. 2. — [С. 237-241].
7. **Семенов А.О.** Современные методы получения матричных материалов для иммобилизации радиоактивных отходов / Д. Г. Демянюк [и др.] // Известия вузов. Физика / Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ). — 2013. — Т. 56, № 4, ч. 2. — С. 124-128.
8. **Семенов А.О.** Моделирование температурных полей волны самораспространяющегося высокотемпературного синтеза при введении в шихту тепловыделяющей добавки NiAl / В. И. Бойко [и др.] // Цветные металлы : научно-технический и производственный журнал / Норильский Никель ; Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2010. — № 5. — С. 79-82.
9. **Семенов А.О.** Управление процессом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза двухкомпонентных борсодержащих материалов ядерно-энергетических установок / Д. Г. Демянюк [и др.] // Известия Томского

политехнического университета / Томский политехнический университет (ТПУ). — 2010. — Т. 316, № 4: Энергетика. — С. 23-29.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 01.04.14 (1.3.14) «Теплофизика и теоретическая теплотехника», пунктам из паспорта специальности:

6. Экспериментальные исследования, физическое и численное моделирование процессов переноса массы, импульса и энергии в многофазных системах и при фазовых превращениях.

7. Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси.

Диссертация «Получение материала на основе алюмината неодима для иммобилизации актиноидной фракции радиоактивных отходов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза» Семенова Андрея Олеговича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 (1.3.14) – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение принято на научном семинаре отделения ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на научном семинаре – 11 чел. Результаты голосования: «за» – 11 чел., «против» – 0, «воздержалось» – 0, протокол № 48 от «12» ноября 2021 г.



подпись

Алексей Германович Горюнов,
заведующий кафедрой - руководитель отделения
ядерно-топливного цикла на правах кафедры
Инженерной школы ядерных технологий
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», доктор
технических наук, доцент.

