

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИВТЭ УрО РАН

д.х.н. Ананьев М.В.



« 18 » января 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института высокотемпературной электрохимии

Уральского отделения Российской академии наук

на диссертационную работу
Долгодворова Алексея Павловича

на тему “Моделирование поведения продуктов деления в нитридном топливе”,
представляемую к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.03 - ядерные энергетические установки,
включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Актуальность

В настоящее время имеется повышенный интерес к нитриднему топливу. Интерес обусловлен его свойствами, которые выгодно выделяются на фоне свойств других видов топлива: оксидного и металлического. Во-первых, по сравнению с оксидным топливом нитридное топливо обладает более высокой плотностью и более высокой теплопроводностью. Во-вторых, температура плавления нитридного топлива выше, чем температура плавления металлического топлива. В-третьих, при эксплуатации нитридного топлива не возникает проблем образования легкоплавких эвтектик при взаимодействии со стальной оболочкой, как в случае металлического топлива. При этом нитридное топливо изучено в меньшей степени, чем оксидное и

металлическое топливо. Поведение нитридного топлива под облучением, транспорт и выход продуктов деления, диссоциация топлива, азотирование оболочки ТВЭЛ и многие другие аспекты, касающиеся нитридного топлива, являются в настоящее время чрезвычайно актуальными.

Анализ новизны

Механистическая модель, включающая термодинамические и кинетические аспекты, для нитридного топлива разработана впервые. Построенная модель описания поведения азота в СНУП топливе является оригинальной и позволяет рассчитать такие характеристики, как отклонение от стехиометрии и давление газообразного азота, в том числе при наличии примесей в топливе. Впервые в отечественной практике смоделированы профили распределения продуктов деления по таблетке. Результаты расчетов коррелируют с экспериментальными данными.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит список литературы из 92 использованных источников. Объем диссертации составляет 128 страниц, включая 58 рисунков и 9 таблиц.

В первой главе автором подробно проанализирован мировой опыт по моделированию молекулярно-фазового состава нитридного топлива с продуктами деления. Результаты анализа изложены в четких и ясных формулировках, проиллюстрированы графиками и таблицами. В выводе к первой главе автор подчеркивает необходимость разработки механистических методов для нитридного топлива, в которых может быть учтен локальный характер распределений физических условий, таких как давление и температура, который ведет к неоднородному формированию молекулярно-фазового состава по таблетке.

Во второй главе изложена математическая модель, элементы которой заимствованы из механистических моделей для оксидного топлива. Новыми аспектами выступают построение термодинамической системы для СНУП топлива и

создание модели поведения растворенного азота в матрице топлива. Расчет термодинамической системы дает возможность моделировать набухание топлива, соответствующая модель которого также представлена во второй главе.

В третьей главе описано тестирование модели поведения продуктов деления нитридного топлива. Результаты расчетов равновесного состава топлива сравниваются с результатами аналогичных расчетов из литературы, включающей, как отечественные, так и зарубежные работы. Согласие результатов вполне удовлетворительное. Модель также корректно описывает давление азота в многофазных системах, состоящих из нитрида урана, нитрида плутония, полторного нитрида урана и газообразного азота. Расчетные данные близко коррелируют с экспериментальными данными по равновесному давлению азота. Исследовано влияние примеси кислорода на термодинамическую систему.

В четвертой главе выполняется моделирование поведения продуктов деления в условиях эксперимента BORA-BORA. Расчеты профилей продуктов деления для нитридного топлива осуществлены впервые, они дают важную информацию о распределении продуктов деления по радиусу таблетки, а также о молекулярно-фазовом составе нитридного топлива. Результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными.

Анализ достоверности полученных результатов

Достоверность разработанной кинетической модели подтверждается сравнением результатов расчетов с данными эксперимента BORA-BORA. Показано, что результаты расчета коррелируют с данными эксперимента. Корректность потенциала азота обосновывается сравнением с экспериментальными данными по давлению диссоциации нитрида, а также с корреляциями для давления азота, предложенными ранее в литературе для отрицательной области отклонения от стехиометрии. Достоверность построенной термодинамической модели нитридного

топлива с продуктами деления подтверждается путем сравнения с аналогичными расчетами из литературы.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на 10-ти профильных научных конференциях и семинарах.

Сведения о практическом использовании полученных результатов, рекомендации к использованию

Разработанный программный модуль вошел в состав твэльного кода БЕРКУТ, для которого получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017619976 «Усовершенствованная версия твэльного кода БЕРКУТ, моделирующего поведение в быстрых реакторах твэла с нитридным топливом. Версия 1.0». Результаты диссертации могут быть использованы для разработки пирохимических методов переработки отработанного ядерного топлива, для которого необходимо знание молекулярно-фазового состава.

Результаты, полученные в работе, рекомендуются для использования во всех организациях связанных с разработкой и эксплуатацией ядерных реакторов и с переработкой отработавшего ядерного топлива.

По работе имеется ряд замечаний.

Замечания.

1. При прочтении введения диссертации и автореферата может сложиться впечатление, что работы по исследованию нитридного топлива были начаты и ведутся только в рамках федеральной программы. Тем не менее, важно сделать акцент, что изучение нитридного топлива было начато задолго до создания федеральной программы.
2. В работе в термодинамическую модель включены интерметаллические соединения урана, Ru_3U , Rh_3U , Pd_3U . Было бы желательно добавить в

модель также и опубликованные уже термодинамические данные по интерметаллидам плутония.

3. В главе 4 рассчитаны профили концентраций продуктов деления. Из пояснения не вполне понятно, что является причиной неравномерности распределения продуктов деления по радиусу таблеток.
4. Стр. 14. Что понимается под выражением “Структура решётки типа M_2O_3 ” ?
5. Что Вы называете преципитатами ? Каков механизм их образования ?
Чем они отличаются от зёрен ?

Заключение

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации. Работа выполнена на высоком научном уровне, поставленные цели, достигнуты.

Диссертация построена логично и написана строгим научным языком и содержит необходимое количество схем, графиков и таблиц. В конце каждой главы, а также по диссертации в целом имеются выводы, которые резюмируют сделанную работу.

Результаты диссертационной работы в полной мере отражены в 9 публикациях, 3 из которых опубликованы в рецензируемых журналах: 1 статья в журнале из перечня ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в журналах, включенных в глобальный индекс цитирования Scopus. Основные результаты исследования изложены в автореферате. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа является завершённым научно-квалификационным трудом, соответствует паспорту специальности 05.14.03 “Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации”. На основании п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного

постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., соискатель Долгодворов Алексей Павлович соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук и, таким образом, заслуживает присуждения звания кандидата технических наук по специальности 05.14.03 - "ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации".

Отзыв на диссертацию подготовлен на основании заключения, сделанного в результате обсуждения диссертации и автореферата на заседании Научно-исследовательского отдела, который включает в себя лабораторию радиохимии и лабораторию электродных процессов, 29-го сентября 2017 г., протокол № 7.

Отзыв на диссертацию составил
доктор технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник лаборатории радиохимии,
ФГБУН Института высокотемпературной электрохимии
Уральского отделения
Российской академии наук
620990, г. Екатеринбург,
ул. С.Ковалевской, 22

Потапов

Потапов Алексей Михайлович

A.Potapov_50@mail.ru

тел.: 8-950-646-5007

18 января 2018 года

Подпись Потапова А.М. заверяю

Учёный секретарь ИВТЭ УрО РАН

кандидат химических наук



Кодинцева А.О.