

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора Лиханского Владимира Валентиновича на диссертационную работу Долгодворова Алексея Павловича на тему «Моделирование поведения продуктов деления в нитридном топливе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 — ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к изучению нитридного ядерного топлива, что объясняется его уникальными свойствами, такими как высокая плотность, высокая теплопроводность, совместимость с материалами оболочки и теплоносителя. Это дает возможность рассматривать нитридное топливо в качестве перспективного топлива для реакторов на быстрых нейтронах. Исследования свойств нитрида урана и его поведения под облучением включены в федеральную целевую программу «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010 — 2015 и на перспективу до 2020 года». В свете вышесказанного **актуальность** диссертационной работы Долгодворова А.П. не вызывает сомнения.

Диссертация написана ясным и подробным научным языком, имеет простоту и логичность изложения, обладает внутренним единством. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

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.

Во введении обосновывается актуальность работы, определяются цели и задачи исследования, обозначаются научная новизна, положения выносимые на защиту, достоверность результатов, личный вклад соискателя. **Научная новизна** заключается в том, что впервые на основе объединения термодинамического и кинетического описания поведения нитридного топлива создана модель, позволяющая рассчитывать основные характеристики топлива.

В первой главе автор дает краткий обзор термодинамических свойств нитрида урана, включая фазовые диаграммы и диссоциацию нитрида урана и полуторного нитрида урана. Обсуждается химический состав облученного нитридного топлива в том числе с примесями кислорода и углерода. Проводится подробный анализ литературы по моделированию термодинамического состава топлива, включая и зарубежные работы.

Вторая глава включает описание модели поведения продуктов деления, таких процессов как внутризеренный и межзеренный транспорт продуктов деления, формирование равновесного состава, набухание топлива. Рассматриваются уравнения модели, численные методы и алгоритмы. Описывается разработанная модель химического поведения азота в системе.

В третьей главе подробно излагаются результаты тестирования разработанной модели и кода. Выполнено сравнение расчетов термодинамического состава нитридного топлива с продуктами деления без и с примесями кислорода и углерода с аналогичными расчетами из литературы. Сравнение показывает согласие результатов расчетов. Уделено особое внимание азотсодержащим фазам. Получены и описаны новые результаты по моделированию отклонения от стехиометрии, проанализировано влияние примеси кислорода на этот параметр.

В четвертой главе выполнено моделирование поведения продуктов деления нитридного топлива в эксперименте BORA-BORA. Ценность полученных результатов заключается в том, что разработанный подход позволяет рассчитывать концентрацию продуктов деления в таблетке нитридного топлива в условиях, соответствующих реальной эксплуатации топлива. Результаты расчета распределения урана, плутония и продуктов деления коррелируют с экспериментальными данными, что наравне с результатами тестирования подтверждает **достоверность** разработанной модели.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях и семинарах, опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы

основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а также в изданиях, включенных в глобальный индекс цитирования Scopus.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный код входит в состав твэльного кода БЕРКУТ, используемого для моделирования работы твэла в условиях эксплуатации топлива.

По работе имеются замечания.

1) Во введении диссертации проведён обзор литературы, относящейся в основном к задаче термодинамического моделирования нитридного топлива с продуктами деления. Вследствие того, что модель носит механистический характер, есть смысл проанализировать также существующие отечественные и зарубежные инженерные коды, направленные на расчёт нитридного топлива под облучением.

Важно отметить, что зарубежный опыт включает разработку кода NITRAF, одной из задач которого является описание поведения продуктов деления в нитридном топливе. В связи с этим было бы интересно проанализировать расчеты этого кода, а также сравнить с результатами вычислений диссертанта.

2) Во второй главе рассматриваются эффекты облучения нитридного топлива на кинетику выпадения различных фаз, включающих продукты деления. При этом предполагается, что вторичные фазы формируются на границах матрицы с межзеренной пористостью. К диффузионным уравнениям в качестве условий на границе твердых и газовых фаз ставятся равновесные условия для концентраций соответствующих компонент. При такой постановке неясным остался вопрос о сдвиге фазовых диаграмм в зависимости от удельной частоты делений в топливе. В диссертации не приводятся зависимости от удельного энерговыделения (не только от температуры) массовых долей вторичных фаз, а также равновесного значения давления азота на границе с топливом.

3) В четвертой главе проведен расчет и достаточно подробный анализ профилей продуктов деления. Обсуждение результатов расчетов носило бы более полный характер, если бы были включены данные о массовой доле вторичных фаз и доле вышедших из топлива газообразных продуктов деления.

Перечисленные замечания не снижают научной значимости и практической диссертационной работы. Диссертация Долгодворова А.П. является завершенным научно-квалификационным исследовательским трудом и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (редакция от 30.07.2014 г.), предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы Долгодворов Алексей Павлович заслуживает присуждения степени по специальности 05.14.03 (Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации).

Официальный оппонент,
Директор отделения безопасности объектов
атомной энергетики АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
д.ф.-м.н., профессор

В.В. Лиханский

« 29 » декабря 2017г.

Подпись В.В. Лиханского заверяю

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
к.ф.-м.н.



А.А. Ежов

« 29 » декабря 2017г.