

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Белоногова Михаила Николаевича

«Расчетные характеристики трансмутации минорных актиноидов в жидкосолевом реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность

Облученное ядерное топливо ядерных энергетических реакторов помимо продуктов деления содержит большое количество долгоживущих высокоактивных радиоактивных элементов, таких как плутоний и минорные актиноиды – Np, Am и Cm. Общий подход, которого придерживаются в настоящее время ученые и инженеры многих стран, работающие в области обращения с радиоактивными отходами (РАО), состоит в целесообразности радиохимической переработки отработавшего топлива, в процессе которой извлекаются уран, плутоний и минорные актиниды (МА). Для утилизации выделенных МА предлагаются к разработке различные методы трансмутации и выжигания долгоживущих актинидов, которые позволили бы существенно уменьшить их массу. Представляется, что широкомасштабное сжигание МА можно осуществить лишь в специализированных реакторных установках. В настоящее время в качестве такой специализированной ядерно-энергетической системы рассматривается ядерный реактор с циркулирующим топливом на основе расплавов топливных солей и быстрым спектром нейтронов (ЖСР-С). Основные преимущества ЖСР-С в этой области применения заключаются в гибком топливном цикле, возможности широко варьировать содержание МА в топливной соли без изменения конструкции и остановки реактора, отсутствии операций фабрикации и рефабрикации твэлов при организации многократного рециклирования МА, возможностью перерабатывать относительно небольшие количества топлива без остановки реакторной установки. Представленная на рассмотрение диссертационная работа посвящена актуальной задаче по определению на основе расчетного моделирования основных характеристик трансмутации МА в ЖСР-С в обоснование его разработки и создания.

В ходе выполнения работ над диссертацией автором получены и разработаны новые важные результаты:

1. Разработана и реализована расчетная методика связанного моделирования топливного цикла ЖСР-С на основе прецизионных расчетных кодов, позволяющих моделировать нейтронно-физические и теплогидравлические характеристики реактора, кинетику нуклидного состава топливных солей.

2. Установлены основные закономерности трансмутации МА в ЖСР-С, обеспечивающие минимизацию наработки РАО при заданной производительности трансмутации, получены зависимости трансмутации МА от характеристик реактора (тепловой мощности, объема активной зоны (а.з.) и топливного контура, нуклидного состава топливной соли) и его топливного цикла (длительность выдержки, степень извлечения ПД, потери актиноидов).

3. Для ЖСР-С на основе кандидатных солей FLiNaK и FLiBe при заданной производительности трансмутации МА определены характеристики реактора (тепловая мощность, объем топливной соли, ее начальный состав), обеспечивающие эффективную трансмутацию МА.

Полученные результаты обладают теоретической и практической значимостью, поскольку:

1. Созданная расчетная методика позволяет моделировать основные физико-химические процессы в реакторах на расплавах солей и может быть использована для расчетов характеристик ЖСР разных типов.

2. Результаты проведенных расчетов позволили сформулировать требования к техническим заданиям по организации и проведению экспериментов по определению температуры ликвидуса модельных составов топливной соли, коррозионной стойкости кандидатных конструкционных материалов и экспериментальной проверке процессов переработки соли.

3. Получены характеристики трансмутации МА в реакторах на расплавах солей на основе FLiNaK и FLiBe, которые могут быть использованы при анализе разных подходов к утилизации МА и при проектировании полномасштабного реактора-сжигателя МА.

Материалы диссертации достаточно полно отражены в 18 научных публикациях, из них 8 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ. Результаты исследования прошли апробацию и обсуждение на 11 научных конференциях и семинарах.

По содержанию автореферата имеются следующие **замечания и вопросы**:

1. Заявляется, что *“Достоверность результатов работы подтверждается использованием ...кодов (ПРИЗМА и РИСК), аттестованных для расчетов тепловых реакторов”*. Однако в работе рассматривается ЖСР с быстрым спектром нейтронов. Кроме того, представленные коды аттестованы для расчета НФХ реактора, но не трансмутации МА.

2. Выполненные в России и за рубежом расчетно-экспериментальные исследования трансмутации МА показывают высокую погрешность (до десятков %) определения нуклидного состава МА. Не представлена оценка влияния расчетных погрешностей нуклидной кинетики трансмутации МА на эффективность трансмутации и предложенной концепции.

3. *“В расчетах определялась концентрация фторидов актиноидов C_A , при которой в равновесном режиме $K_{эфф}=1,02 \pm 0,03$ (рисунок 2)”*. Почему выбрано значение $K_{эфф}=1,02$, а не 1,00 ? Тогда *“реализация оптимального режима достигается поддержанием определенной концентрации фторидов актиноидов $C_{опт}$ ”*, которое будет ~ 7 мол. %, а не ~ 8 мол. %.

4. *“ЖСР-С с солью на основе FLiNaK с цилиндрической а.з., окруженной графитовым отражателем”*. Для чего в ЖСР с быстрым спектром нейтронов используется графитовый отражатель, нельзя ли подобрать другой более надежный материал, тем более в ЖСР с планируемой длительной эксплуатацией?

5. “Каждые 300 эфф. сут из соли извлекались все ПД и добавлялись актиноиды”. Невозможно из соли извлечь все ПД. Как это учитывается в дальнейших расчетах радиационной опасности?

6. Правильно отмечается, что остается “актуальна задача обоснования целесообразности трансмутации МА в ЖСР-С с точки зрения уменьшения их радиационной опасности”, а “активность накопленных радионуклидов” в интервале времени 200-300 лет повышается. Следовательно, ЖСР нельзя рассматривать как максимально эффективный выжигатель МА? Эффективность ЖСР надо рассматривать с учетом выработки энергии (экономика) и выжигания МА.

Несмотря на отмеченные замечания к автореферату, диссертационная работа Белоногова Михаила Николаевича на тему: «Расчетные характеристики трансмутации минорных актиноидов в жидкосолевом реакторе» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, и соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Ижутов Алексей Леонидович,
Заместитель директора – научный
руководитель АО «ГНЦ НИИАР»,
кандидат технических наук

05.10.2026

дата



подпись

Наименование организации: Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»)

Почтовый адрес: 433510, Ульяновская область, г. Димитровград, Западное шоссе, 9
Телефон: (84235) 9-83-83

Электронная почта: niiar@niiar.ru

Подпись Ижутова А.Л. заверяю:
Ученый секретарь АО «ГНЦ НИИАР»

Д.А. Корнилов

