

# ТРАНСМУТАЦИЯ МИНОРНЫХ АКТИНОИДОВ В ЖИДКОСОЛЕВОМ РЕАКТОРЕ КАК СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ИХ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ

*М. Н. Белоногов, И. А. Волков, Н. Д. Дырда, Д. Г. Модестов, Д. В. Хмельницкий*

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

Один из возможных способов уменьшения активности радиоактивных отходов (РАО) в долгосрочной перспективе – извлечение из отработавшего топлива энергетических реакторов минорных актиноидов (МА – Np, Am, Cm) и их трансмутация в специализированном жидкосолевом реакторе-сжигателе (ЖСР-С) [1–3]. При этом под трансмутацией понимается как перевод в продукты деления (ПД) этих нуклидов, так и образовавшихся из них актиноидов.

В докладе кратко представлены результаты предыдущих расчетных исследований [1, 2]:

1. показано существование режима трансмутации МА без дополнительной подпитки Pu, реализация которого достигается поддержанием концентрации фторидов актиноидов ~10–15%, мол;

2. для ЖСР-С на основе соли молярного состава (%) 46,5LiF–11,5NaF–42KF при тепловой мощности установки 800 МВт в таком режиме реактор потребляет только МА массой ~250 кг/год. Интегральное потребление стороннего Pu до выхода в равновесный режим составляет ~5–10 т;

3. при концентрации фторидов актиноидов 3%, мол., что характерно для солей на основе LiF и BeF<sub>2</sub>, для обеспечения той же производительности трансмутации МА необходимо увеличить тепловую мощность до 1800 МВт. При этом в равновесном режиме потребление стороннего Pu составит ~300 кг/год; интегральное потребление до выхода в равновесный режим возрастет ~ в 4 раза;

4. особенность ЖСР-С для трансмутации МА – накопление при его эксплуатации в составе плутония четных изотопов, включая высокоактивные <sup>238</sup>Pu и <sup>240</sup>Pu; повышение доли Cm в МА за счет увеличения концентрации альфа-активных <sup>242</sup>Cm и <sup>244</sup>Cm.

Цель настоящей работы – расчетная оценка радиационных характеристик МА и образующихся из них нуклидов при двух вариантах обращения: хранение МА и их трансмутация в ЖСР-С. В качестве таких характеристик рассматривались активность и эффективная доза при поступлении с пищей внутрь организма, равная произведению активности нуклида на его дозовый коэффициент из НРБ-99/2009. В расчетах рассматривались соли молярных составов (%) 46,5LiF–11,5NaF–42KF и 73LiF–27BeF<sub>2</sub>.

В результате расчетных исследований было установлено:

1. деградация изотопного состава Pu приводит к росту его активности, которая примерно в два раза больше, чем у исходных МА, при сопоставимом тепловыделении; на три порядка возрастает эффективная доза. Это может вызвать трудности при использовании такого Pu в качестве топлива современных энергетических реакторов. Поэтому его можно рассматривать как РАО;

2. только после 250-ти лет эксплуатации ЖСР-С и выдержки в течение 150 лет активность актиноидов в соли, их потерь и наработанных ПД становится меньше активности исходных МА в случае их хранения. Уменьшение активности альфа-излучения относительно исходных МА начинается после 50-ти лет эксплуатации ЖСР-С и выдержки топлива ~90–150 лет. Причем относительное уменьшение активности тем больше, чем больше длительность эксплуатации ЖСР-С;

3. если не учитывать радиационные характеристики растворенных в топливной соли актиноидов, что соответствует предельному случаю длительной эксплуатации ЖСР-С в равновесном режиме, активность альфа-излучения и эффективная доза через 50 лет эксплуатации и выдержке 100 лет уменьшается относительно исходных МА на 91–98%.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для эффективной трансмутации МА необходима продолжительная эксплуатация ЖСР-С с заменой исчерпавшего ресурс оборудования.

## Литература

1. **Белоногов, М. Н.** Об оптимальном режиме трансмутации минорных актиноидов в жидкосолевом реакторе [Текст] / М. Н. Белоногов, И. А. Волков, Д. Г. Модестов и др. // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – Вып. 3. – С. 135–142.

2. **Белоногов, М. Н.** Сравнительный анализ трансмутации в реакторе-сжигателе на основе солей LiF–NaF–KF и LiF–BeF<sub>2</sub> [Текст] / М. Н. Белоногов, И. А. Волков, Д. Г. Модестов и др. // Атомная энергия. – 2022. – Т. 132. – Вып. 4. – С. 195–200.
  3. **Игнатьев, В. В.** Реактор с циркулирующим топливом на основе расплавов фторидов металлов для сжигания Np, Am, Cm [Текст] / Игнатьев В. В., Абалин С. С., Гуров М. Ю. и др. // Атомная энергия. – 2020. – Т. 129. – Вып. 3. – С. 130–134.
-