

УДК 621.3

ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ТРАНСМУТАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕСС ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Пташиц К.П.

Научный руководитель – инженер Денисов С.М.

В настоящее время ядерная энергетика ограничена уран-плутониевым топливным циклом (как в области реакторов на тепловых, так и реакторов на быстрых нейтронах). Это объясняется наследственностью ядерных технологий из военной сферы. Вследствие этого многие недостатки данного решения, не являющиеся существенными в условиях «холодной войны» и долговременного симметричного наращивания вооружений, превратились в существенный тормозящий фактор для распространения и популяризации «мирного атома». Одним из таких недостатков является накопление в процессе уран-плутониевого топливного цикла долгоживущих, высокотоксичных и высокоактивных продуктов деления. Даже в случае выделения данных изотопов из отработанного ядерного топлива (ОЯТ) проблема их изолирования и захоронения представляется весьма трудоёмкой даже для современных технологий, поскольку период полураспада многих из них превышает десятки тысяч лет, за которые даже устойчивые ныне геологические формации могут стать нестабильными и не смогут изолировать представляющие радиоактивную опасность материалы. Большая часть короткоживущих продуктов деления успевает распасться в течение первых 100 лет выдержки, что заметно снижает дозовые показатели топлива, однако оставшиеся долгоживущие изотопы сохраняют свою активность в течение многих тысяч лет. В таблице 1 [1] представлен состав наиболее активных продуктов деления ядерного топлива в расчёте на один твэл реактора ВВЭР-1000 после 3-летней кампании.

Таблица 1 – Параметры наиболее опасных продуктов деления ядерного топлива

Изотоп	Период полураспада, лет	Активность при выгрузке, Бк/твэл
^{135}Cs	2300000	$2,99 \cdot 10^7$
^{137}Cs	30,17	$4,83 \cdot 10^{12}$
^{129}I	15700000	$2,37 \cdot 10^6$
^{79}Se	65000	$2,52 \cdot 10^7$
^{126}Sn	100000	$3,92 \cdot 10^7$
^{99}Tc	212000	$9,94 \cdot 10^8$
^{93}Zr	1530000	$1,4 \cdot 10^8$

Несмотря на развитие альтернативных топливных циклов и технологий, таких, как ториевый топливный цикл и термоядерный синтез, данные проекты всё ещё далеки от надёжной технологической реализации. Скорее всего, в ближайшие десятилетия значительных продвижений в данных областях не произойдёт. В связи с этим одним из немногих реально осуществимых вариантов существования и развития ядерной энергетики становится закрытый ядерный топливный цикл с использованием уран-плутониевого топлива для тепловых и быстрых реакторов. При переходе на закрытый топливный цикл появится возможность выжигать радиологически опасные трансплутониевые актиноиды, образующиеся при работе реакторов на тепловых нейтронах. Как упоминалось выше, это выступит преимуществом по сравнению с открытым топливным циклом, поскольку позволит избавиться от значительной части долгоживущих высокоактивных делящихся изотопов. При этом сама по себе реализация закрытого топливного цикла не решает проблему накопления вышеописанных долгоживущих и высокоактивных продуктов деления.

Для уменьшения количества данных изотопов и трансплутониевых элементов, накапливающихся в реакторе, упрощения способов их изоляции, а также минимизации

дальнейших рисков всё чаще предлагается использовать трансмутацию отработанного ядерного топлива. Данный процесс позволяет изменить элементный или изотопный состав ядерных отходов, тем самым сокращая их период полураспада и общую активность. Основными плюсами трансмутации являются:

теоретическая возможность осуществления данного процесса как посредством нынешних технологий (добавление изотопов в реакторное топливо, использование изотопов в отражателе быстрого реактора, облучение частицами на ускорителях), так и с помощью технологий будущего (помещение изотопов в первую стенку термоядерного реактора, смешение с топливом ториевого топливного цикла). Это позволяет плавно перейти с одной ядерной технологии на другую, минимизируя нагрузку на окружающую среду и будущие поколения, а также несёт перспективы полезного сосуществования, к примеру, уран-плутониевого и термоядерного циклов;

снижение нагрузки на хранилища радиоактивных отходов путём упрощения конструктивных требований вследствие снижения активности, общего количества и срока жизни помещаемых радионуклидов;

возможность реализации реального закрытого топливного цикла, что снизит зависимость ядерной отрасли от добычи урановой руды и обогащения топлива по ^{235}U . Тем самым также станет возможна утилизация накопленного оружейного и реакторного плутония;

инвестиции в данную область знаний позволят лучше изучить различные топливные циклы, что в конечном итоге должно повлечь максимизацию полезного использования имеющегося ядерного топлива и минимизацию отходов;

как следствие уменьшения количества опасных продуктов деления и реализации ЗЯТЦ, появится возможность безопасного экспорта ядерной энергетики, при котором отработанное топливо возвращается для контроля и рециркуляции к его поставщику. Многие страны отказываются от ядерной энергетики именно по причине невозможности или законодательного запрета на захоронение на своей территории долгоживущих радиоактивных отходов;

улучшение имиджа ядерной энергетики в глазах общественности, т.к. проблема с размещением и захоронением ядерных отходов на территории тех или иных государств будет минимизирована, а также появятся гарантии уничтожения наиболее опасных радионуклидов.

Трансмутация ядерного топлива, наряду с развитием ядерных топливных циклов и термоядерного синтеза, является одной из наиболее прогрессивных отраслей ядерной энергетики. Данная технология позволяет решать многие проблемы, с которыми сталкиваются страны, имеющие действующие АЭС. Роль трансмутации во многом перекликается и дополняет роль самой ядерной энергетики, которая, несмотря на имеющиеся недостатки, превосходит по эффективности и гибкости как альтернативные возобновляемые источники энергии, так и традиционные энергетические технологии на основе органического топлива. Именно этим объясняется наличие и активное развитие ядерной энергетики в странах с высоким научным потенциалом (Франция, Бельгия, Великобритания, США, Россия, Япония, Канада, Южная Корея а в последнее время – Индия и Китай). Данные страны представляют собой не только лидеров в научной сфере, и, в частности, в сфере энергетики, но и являются лидерами в экономической области. Желание данных стран продвигать ядерную энергетику на экспорт, внедрять новейшие технологии в промышленное производство показывают как экономическую, так и эксплуатационную целесообразность увеличения доли энергии, вырабатываемой на АЭС, в общем объёме энерговыработки. В связи с этим, развитие технологий трансмутации неизбежно, и роль её в дальнейшем развитии ядерной энергетики неоспорима.

Литература

1. М. Колобашкин, П. М. Рубцов, Радиационные характеристики облученного ядерного топлива. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1983 – 384 с.