

УДК 621.0

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРИТИЧНОСТИ В ЖИДКОСОЛЕВОМ ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ С ЦЕЛЬЮ ТРАНСМУТАЦИИ МИНОРНЫХ АКТИНОИДОВ

Цыганкова С.Д., Стрижёва Е.М.

Научные руководители – ассистент Денисов С.М., ассистент Зеленин Д.С.

В настоящее время одной из самых трудноразрешимых проблем развития ядерной энергетики является проблема накопления отработанного ядерного топлива (ОЯТ). С каждым годом количество эксплуатируемых реакторов растёт, что влечёт за собой накопление продуктов их работы. К сожалению, несмотря на усилия некоторых стран, объём перерабатываемого на предприятиях отрасли ОЯТ растёт значительно меньшими темпами, чем его накопление. В результате, количество ОЯТ, складываемого по всему миру, по самым скромным оценкам превысило 400000 тонн. Данный объём высокоактивного ОЯТ не представляется возможным захоронить в глубоких геологических формациях по нескольким причинам:

1) ОЯТ содержит значительное количество урана и трансураниевых элементов, которые пригодны для использования в реакторах.

2) Механизм устойчивости геологических формаций не позволяет рассчитать их состояние на ближайшие несколько тысяч лет, в то время как период полураспада многих составляющих ОЯТ составляет десятки и сотни тысяч лет.

3) Объём накопленного ОЯТ значительно превышает размеры планируемых и сооружаемых на сегодняшний день могильников.

Таким образом, наиболее целесообразным способом обращения с ОЯТ является его переработка с выделением как наиболее ценных, так и наиболее опасных элементов. К группе наиболее опасных элементов относятся минорные актиноиды – трансураниевые элементы, которые нарабатываются в реакторах путём поглощения топливом нейтронов без последующего деления. В первую очередь к минорным актиноидам относят нептуний, америций, кюрий.

Особенностью наиболее распространённых реакторов на тепловых нейтронах является их мягкий спектр, не позволяющий осуществлять деление минорных актиноидов. На сегодняшний день технологии обращения с минорными актиноидами продвинулись вперёд, предлагается, в частности, их выжигание в реакторах на быстрых нейтронах или трансмутация при помощи нейтронов ядерного синтеза или электроядерных установок. В данной же статье акцент сделан на идее трансмутации минорных актиноидов в быстром жидкосолевом реакторе.

В настоящее время (согласно [1]) наиболее популярна идея жидкосолевых реакторов, использующих тепловые нейтроны. Это объясняется возможностью использования в таких реакторах ториевого топлива, которое работает исключительно с тепловыми нейтронами. Данный подход позволяет достичь высоких значений воспроизводства топлива, а также увеличить срок безостановочной работы реактора в несколько раз по сравнению с используемыми реакторами. Тем не менее, данный вариант не подходит для целей трансмутации минорных актиноидов, поскольку в тепловом спектре будет происходить их накапливание, а не деление. В качестве альтернативы предлагается использовать жидкосолевым реактор на быстрых нейтронах. По информации, приведенной в [2], наиболее предпочтительной композицией расплава для такого реактора выступит смесь LiF , ZrF_4 , NaF , UF_4 и фториды трансмутируемых минорных актиноидов, для удобства обозначаемые как MF_x . Предвидя вопросы ядерной безопасности, следует добавить, что непосредственно топливная загрузка является подкритической, в качестве катализатора и регулятора реакции предлагается использовать электроядерную установку, которая посылает протоны энергий

300 МэВ – 1 ГэВ в активную зону жидкосолевого реактора, выполняющую роль мишени. Схема установки представлена на рисунке 1.

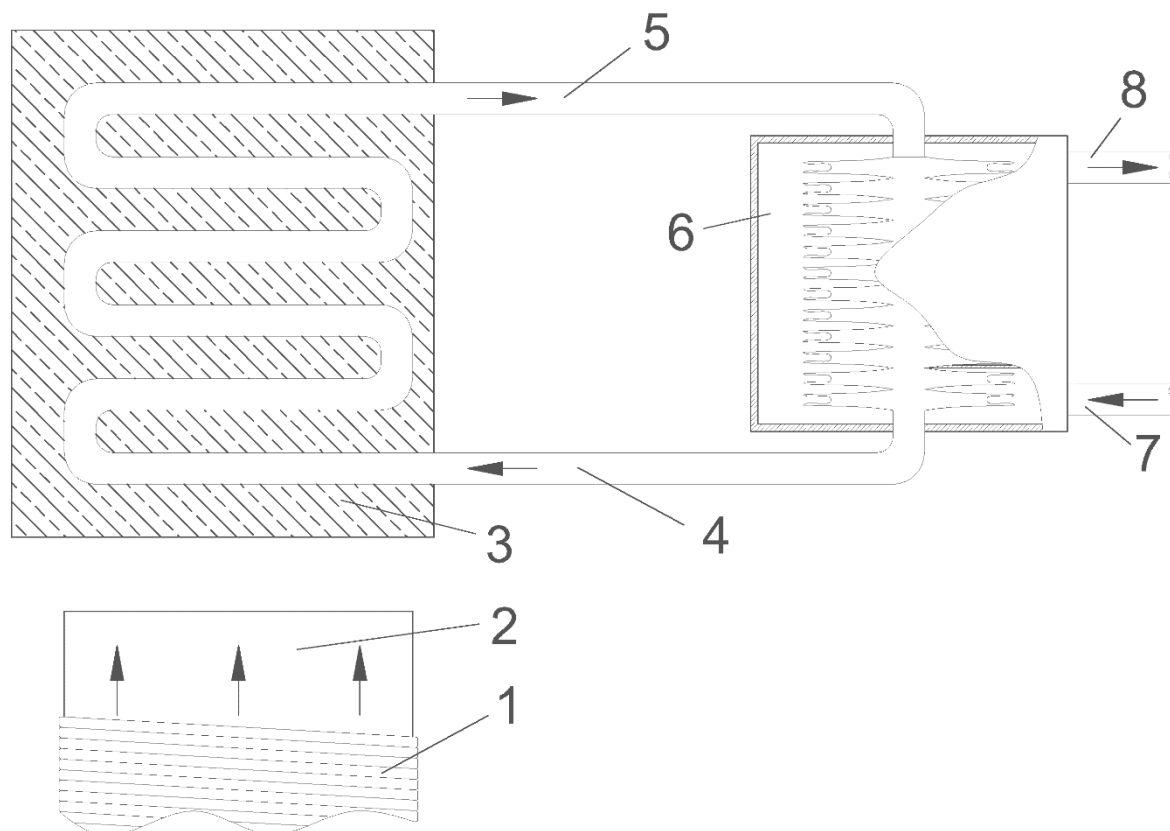


Рисунок 1 – Схема рассматриваемой системы быстрого жидкосолевого реактора и электроядерной установки

1 – ускоритель протонов; 2 – пучок ускоренных протонов; 3 – жидкосолевой реактор; 4 – входной патрубок системы охлаждения (топливной композиции); 5 – выходной патрубок системы охлаждения; 6 – теплообменник для отвода тепла (парогенератор); 7 – входной патрубок системы охлаждения теплообменника; 8 – выходной патрубок системы охлаждения теплообменника

Преимущества использования данной схемы следующие:

1) В качестве мишени используется ядерное топливо. В результате возможны реакции с вылетом большого количества быстрых нейтронов, при этом энергия нейтронов пропорциональна энергии пучка протонов.

2) Трансмутлируемые элементы добавляются непосредственно в топливную композицию, что минимизирует потери нейтронов, а также облегчает охлаждение.

3) Змеевидный патрубок позволяет сохранить запаздывающие нейтроны в активной зоне, а также увеличить продолжительность облучения топлива протонами и вторичными нейтронами.

4) Вследствие использования жидкосолевого теплоносителя возможно достижение высоких температур топлива, что позволит организовывать теплосъём с высокими параметрами (температура расплава на выходе из реактора может превышать 700 °С). В качестве теплоносителя второго контура предлагается использовать свинцово-висмутовый сплав, что позволит достичь сверхкритических параметров водяного пара при использовании воды в качестве теплоносителя третьего контура.

5) Для управления жидкосолевым реактором не требуются регулирующие стержни. Специфика работы быстрых реакторов предполагает значительную утечку нейтронов из активной зоны, что позволит вывести реактор в подкритическое состояние посредством отключения электроядерной установки от источника питания. В случае обесточивания собственных нужд (считается проектной аварией на современных АЭС) установка не будет представлять угрозу. Кроме того, вследствие организации теплосъёма предусмотрено

обеспечение естественной циркуляции теплоносителя, что позволит надёжно предотвратить саморазогрев ядерного топлива.

б) Компоновка реактора позволяет использовать нейтроны утечки для целей трансмутации других элементов, при этом расположение их наиболее рационально производить вокруг корпуса реактора.

Таким образом, использование предложенной в данной статье схемы позволяет одновременно производить выработку электроэнергии с высоким КПД, трансмутацию наиболее опасных элементов ОЯТ, а также, потенциально, решать иные задачи, такие, как производство радиоизотопов для промышленных нужд.

Литература

1. Бекман И. Н. Радиохимия, т. 2. М. – Онтопринт, 2014 г. – 400 с.
2. Бекман И. Н. Радиохимия, т. 1. М. – Онтопринт, 2011 г. – 398 с.