

УДК 621.0

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАРАБОТКИ ПЛУТОНИЯ-238 ДЛЯ НУЖД КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И МЕДИЦИНЫ

Цыганкова С.Д., Стрижёва Е.М.

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

На данном этапе развития ядерных технологий радиоактивные материалы используются повсеместно. Помимо ядерной энергетики, их можно встретить в медицине, светотехнике, диагностике повреждений, во всех областях промышленности, в том числе, в космической отрасли. По своему применению радиоактивные вещества делятся на несколько категорий, наиболее важные из которых представлены ниже:

1) Излучающие – к ним относятся радионуклиды, ценность которых заключается в испускаемых ими частицах. Например, ^{60}Co нашёл своё применение при стерилизации медицинских инструментов, находящихся в герметичной упаковке – жёсткое гамма-излучение, образующееся при радиоактивном распаде данного элемента, не задерживается тонкой упаковочной плёнкой, и при этом эффективно уничтожает микроорганизмы, которые могли бы стать причиной заражения при инъекциях или в процессе медицинских операций.

2) Маркеры – как правило, это короткоживущие изотопы, которые позволяют обнаружить дефекты в оборудовании. Например, микроскопические трещины, не видимые глазом и более точным оборудованием.

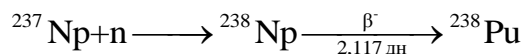
3) Источники питания – радиоактивные элементы, которые при распаде выделяют большое количество тепла. К ним относятся полоний и изотопы некоторых трансурановых элементов, наиболее распространённым из которых является ^{238}Pu . Данной категории изотопов и посвящена данная статья.

При запуске космических аппаратов важно обеспечить их надёжным источником питания. При относительно небольшом удалении аппарата от Солнца возможно использование солнечных батарей. В то же время, спускаемые аппараты, например, марсоходы, нуждаются в принципиально ином источнике питания, поскольку Солнце часто находится за горизонтом изучаемого небесного объекта. В связи с этим в качестве крайне эффективного источника питания себя зарекомендовали радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи). В них используется принцип преобразования выделяющейся при распаде радионуклида тепловой энергии в электрическую. Данные устройства нашли своё применение в космических аппаратах, а также в автономных установках, к которым осложнён регулярный доступ (например, в маяках). В то же время, сегодня существует проблема с производством необходимых для работы данных установок материалов.

Основная проблема заключается в том, что ^{238}Pu в СССР являлся побочным продуктом производства ядерного оружия (он образовывался в реакторах из ^{235}U , а затем удалялся, т.к. обладал слишком высоким тепловыделением, которое могло привести к тепловому взрыву и разрушению ядерной боеголовки). После вступления в силу договоров о нераспространении ядерного оружия производство плутония было прекращено, что привело к прекращению производства и ценного в неоружейной отрасли ^{238}Pu . В результате космическая отрасль испытывает недостаток данного изотопа. Помимо космоса, ^{238}Pu используется в качестве источника энергии в кардиостимуляторах, поскольку не обладает побочным гамма-излучением, в то время как его основное излучение – альфа-частицы – надёжно блокируется стенками аппарата. При этом неоспоримым его достоинством является длительный срок работы, что недостижимо ни для одного аккумулятора.

В качестве реального способа наработки ценного изотопа ^{238}Pu предлагается использовать трансмутационную установку на основе жидкосолевого быстрого реактора и электроядерной установки. В качестве мишени будет выступать ^{237}Np , относящийся к группе минорных актиноидов и подлежащий уничтожению в силу его способности к цепной

реакции и потенциальной возможности изготовления из него ядерной бомбы. В установке будет протекать следующая реакция:



В результате данной реакции происходит уничтожение опасного изотопа нептуния и производство ценного ${}^{238}\text{Pu}$, не представляющего ядерную опасность в силу чётного числа нуклонов в ядре. Схема предполагаемой установки для производства ${}^{238}\text{Pu}$ представлена на рисунке 1.

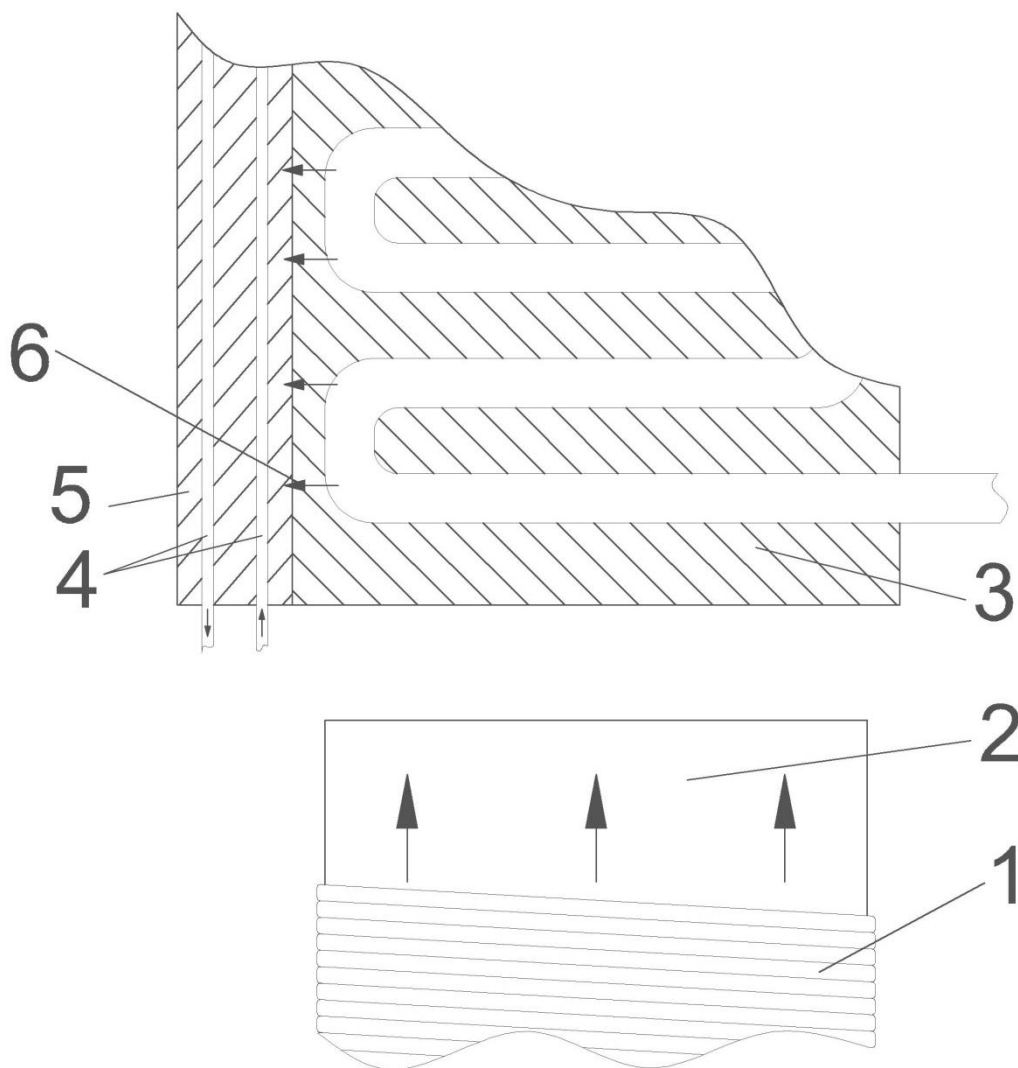


Рисунок 1 – Схема рассматриваемой системы быстрого жидкосолевого реактора и электроядерной установки

1 – ускоритель протонов; 2 – пучок ускоренных протонов; 3 – жидкосолевой реактор; 4 – трубки системы охлаждения (нептуниевой мишени); 5 – нептуниевая мишень; 6 – поток нейтронов, образующийся в жидкосолевом реакторе

Наиболее важными нюансами работы данной системы являются следующие:

1) Нептуниевая мишень должна иметь заметную толщину, буферный материал должен обладать замедляющими свойствами во избежание утечки и для повышения вероятности захвата нейтронов. Наиболее предпочтительным замедлителем является графит, более дорогим вариантом может служить тяжёлая вода, прокачиваемая через систему охлаждения мишени.

2) В случае использования минорных актиноидов в качестве топлива для жидкосолевого реактора возможно параллельное их уничтожение с процессом производства ${}^{238}\text{Pu}$. В данном случае наиболее рациональным шагом является разделение минорных

актиноидов на актиноиды с высокой атомной массой и с низкой. В таком случае нептуний и уран отделятся от америция, кюрия и части изотопов плутония, после чего с помощью химических процессов, изложенных в [1] нептуний можно сравнительно легко отделить.

3) Рекомендуется использовать отражатели нейтронов с незадействованных сторон жидкосолевого реактора, что позволит увеличить нейтронный поток в активной зоне и, как следствие, в нептуниевой мишени.

4) Работа мишени в течение длительного периода недопустима по причине наработки в ней вредных изотопов. Процесс получения ^{238}Pu в данном случае схож с процессом наработки оружейных изотопов.

В результате использования данной системы возможна наработка ценного изотопа ^{238}Pu без нарушения договоров о нераспространении ядерного оружия. Помимо этого, решается вопрос с утилизацией нептуния и других минорных актиноидов.

Литература

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