



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016130027, 21.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.07.2016Дата регистрации:
12.10.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.07.2016

(45) Опубликовано: 12.10.2017 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1,
НИЦ "Курчатовский институт", зам. директора
по международной деятельности М.В. Попову

(72) Автор(ы):

Пашков Александр Юрьевич (RU),
Кутеев Борис Васильевич (RU),
Шпанский Юрий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой
выступает Государственная корпорация по
атомной энергии "Росатом" (RU),
Федеральное государственное бюджетное
учреждение "Национальный
исследовательский центр "Курчатовский
институт" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 143978 U1, 10.08.2014. RU
2002131068 A, 10.06.2004. EP 0277892 A1,
10.08.1988. FR 2610136 A1, 29.07.1988.

(54) БЛАНКЕТ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

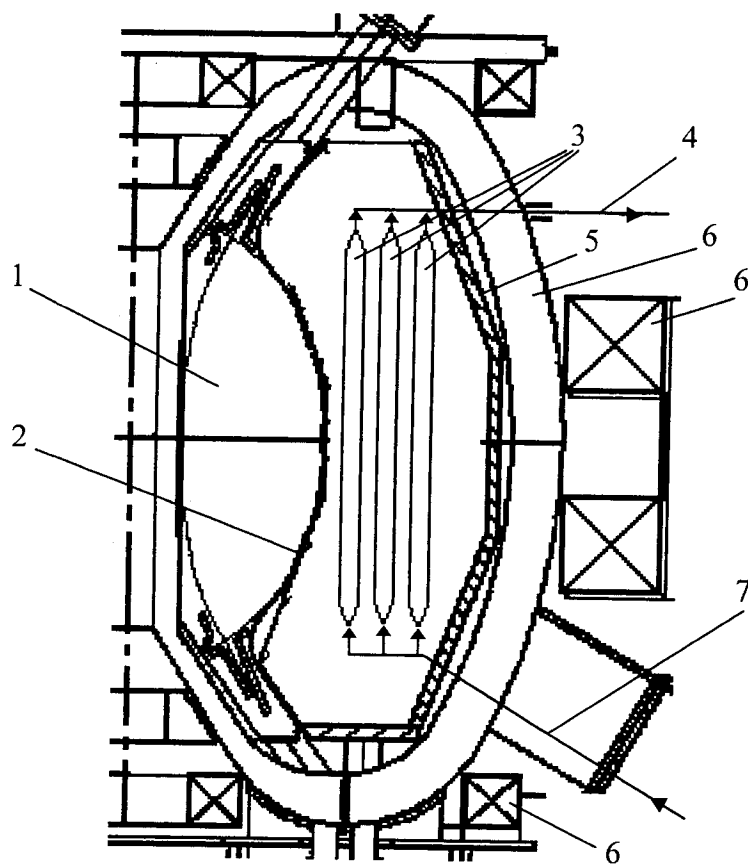
(57) Реферат:

Изобретение конструкции бланкета термоядерного реактора. Заявленный бланкет состоит из по крайней мере из одного вертикального металлического модуля, нижняя часть которого заполнена кипящим раствором сырьевого материала и соединена патрубком с устройством для извлечения из раствора целевых изотопов и радиоактивных отходов, а верхняя часть заполнена паром и соединена патрубком с паровым контуром циркуляции. Паровой контур включает последовательно установленные паровую турбину и конденсатор водяного пара, параллельно которому включен аварийный конденсатор и предохранительный клапан. В

верхней части модуль соединен с устройством для рекомбинации продуктов радиолиза воды, а в нижней части модуль соединен трубопроводом с установленной в нем пробкой из материала с температурой плавления большей, чем рабочая температура раствора сырьевого материала, со сливной емкостью. Техническим результатом является повышение технологичности устройства за счет снижения рабочих температур, исключения токсичных и коррозионно-активных веществ, улучшения нейтронно-физических характеристик путем использования слабоактивируемых конструкционных материалов. 6 з.п. ф-лы, 2 табл., 3 ил.

RU 2 633 373 C1

RU 2 633 373 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016130027, 21.07.2016**(24) Effective date for property rights:
21.07.2016Registration date:
12.10.2017

Priority:

(22) Date of filing: **21.07.2016**(45) Date of publication: **12.10.2017** Bull. № 29

Mail address:

**123182, Moskva, pl. Akademika Kurchatova, 1,
NITS "Kurchatovskij institut", zam. direktora po
mezhdunarodnoj deyatel'nosti M.V. Popovu**

(72) Inventor(s):

**Pashkov Aleksandr Yurevich (RU),
Kuteev Boris Vasilevich (RU),
Shpanskij Yuriy Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaya Federatsiya, ot imeni kotoroj
vystupaet Gosudarstvennaya korporatsiya po
atomnoj energii "Rosatom" (RU),
Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
uchrezhdenie "Natsionalnyj issledovatel'skij
tsentr "Kurchatovskij institut" (RU)**

(54) **BLANKET OF THERMONUCLEAR REACTOR**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: claimed blanket consists of, at least, one vertical metal module, the lower part of which is filled with a boiling solution of the raw material and connected by a nozzle to the device for extracting the target isotopes and radioactive wastes from the solution, and the upper part is filled with steam and connected by a branch pipe to the steam circulation circuit. The steam circuit comprises a series-installed steam turbine and a water vapour condenser, in parallel to which an emergency condenser and a safety valve are connected. In the upper part, the module is connected to a device

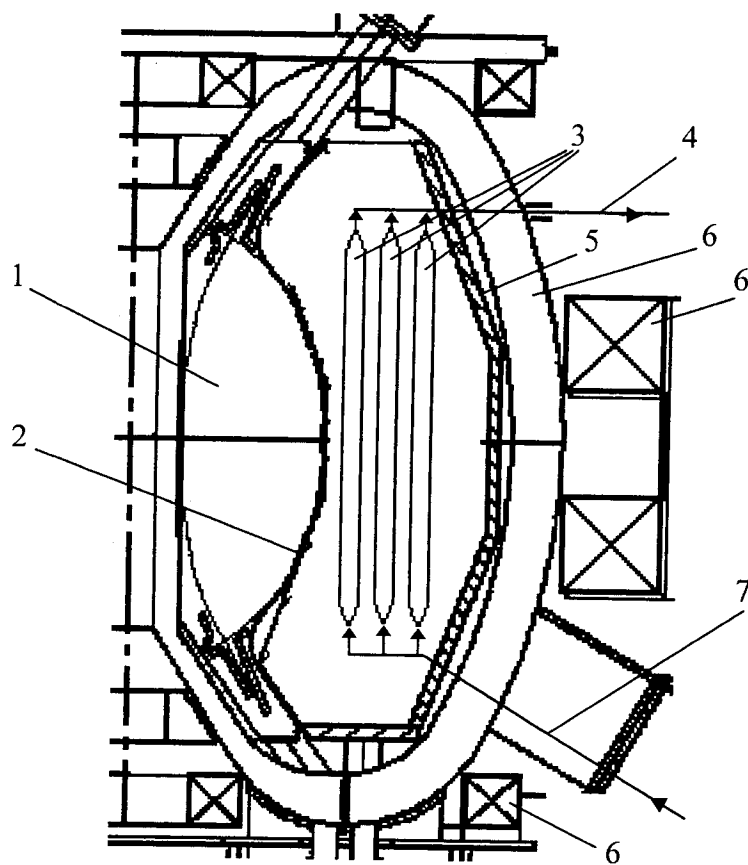
for recombination of radiolysis products of water, and in the lower part the module is connected by a pipeline with a plug therein of a material with a melting point higher than the working temperature of the raw material solution with a drainage tank.

EFFECT: improving the processability of the device as a result of lower operating temperatures, excluding toxic and corrosive substances, improving neutron-physical characteristics through the use of non-activated structural materials.

7 cl, 2 tbl, 3 dwg

RU 2 633 373 C1

RU 2 633 373 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к ядерной технике для генерации нейтронов, где в качестве источника нейтронов используется термоядерный реактор, а именно к конструкции бланкета. Бланкет может использоваться как для наработки целевых изотопов (например, делящегося топлива, трития), так и для трансмутации высокоактивных и токсичных радиоактивных отходов (например, минорных актинидов) в менее активные и нетоксичные. Возможно применение бланкета для получения электрической энергии и в исследовательских целях (например, для изучения нейтронных потоков из плазмы).

Известна конструкция ядерного реактора (Уникальные разработки и экспериментальная база Курчатовского института. Ред. Н.Н. Пономарев-Степной, М., ИздАт, 2008, с. 82-94), в котором активная зона представляет собой емкость, заполненную водным раствором уранил-сульфата (УС) - UO_2SO_4 . Эти реакторы имеют значительный опыт безопасной и надежной эксплуатации.

Известна ядерная энергетическая установка (Емельянов И.Я., Ефанов А.И. и Константинов Л.В. Научно-технические основы управления ядерными реакторами. М.: Энергоиздат, 1981, с. 146-151), содержащая канальный ядерный реактор РБМК-1000. Активную зону этого реактора можно представить состоящей из 117 идентичных подкритических ячеек, связанных по нейтронному потоку. Ячейки в совокупности образуют активную зону канального реактора в критическом состоянии. В качестве теплоносителя используется кипящая вода. Недостатком этой установки является ее невысокая ядерная безопасность, связанная с возникновением положительной обратной связи по нейтронному потоку между ячейками.

Известна ядерная энергетическая установка (Патент РФ №2035070, опубликован 10.05.1995), содержащая, по крайней мере, один ускоритель и одну подкритическую и размножающую нейтроны ячейку, выполненную в виде размещенного в защитном боксе цилиндрического подкритического бланкета, расположенного вокруг мишени, производящей нейтроны и взаимодействующей с пучком ионов от ускорителя, а бланкет разделен на размножающие нейтроны секции, по крайней мере, одним кольцевым нейтронным вентилем, обеспечивающим поглощение потока нейтронов из размножающей секции в соседнюю по направлению к мишени в 10-1000 раз. Сущность изобретения состоит в том, что нейтронный вентиль выполнен в виде расположенных в направлении от мишени сплошных слоев поглотителя тепловых нейтронов и замедлителя быстрых нейтронов. Каждая ячейка связана с входным и выходным коллекторами. Выходной коллектор через теплообменник-парогенератор и главный циркуляционный насос связан с входным коллектором. Теплообменник-парогенератор связан с блоком турбин и генератором электрической энергии. Недостатком этого решения является большая энергонапряженность размножающей нейтроны ячейки, что приводит к снижению надежности и ядерной безопасности установки.

Известен бланкет ТЯР (Патент на ПМ №143978), состоящий из вертикальных металлических модулей, заполненных сырьевым материалом и теплоносителем, устройств для подвода и отвода теплоносителя, при этом модули заполнены сферическими сырьевыми элементами (СЭЛами) с диаметром, значительно меньшим диаметра модуля, причем в верхней части каждого модуля расположено устройство для подвода необлученных СЭЛов и теплоносителя, а в нижней части - устройство для отвода СЭЛов на переработку и теплоносителя. Кроме того, СЭЛы могут быть выполнены гомогенными или гетерогенными, а в качестве теплоносителя используют воду, или органические и фторорганические жидкости, или жидкие металлы, или газы.

Наиболее близким к предлагаемому устройству - прототипом является бланкет ТЯР (Е.П. Велихов и др. "Концепция "зеленой" ядерной энергетики", Вопросы атомной науки

и техники, серия "Термоядерный синтез", 2013, вып. 1, стр. 5), состоящий из вертикальных металлических модулей, соединенных устройствами для подвода и отвода расплава сырьевого материала с контуром естественной циркуляции, и байпасным контуром с устройством для извлечения из расплава целевых изотопов и радиоактивных отходов, где в качестве расплава сырьевого материала используют смесь фтористых солей.

В первом контуре осуществляется естественная циркуляция расплава солей фтора (состав фтор, литий, натрий, калий) с добавлением фторида тория. В нем производится наработка U^{233} из тория. Температура соли на входе в бланкет $\sim 550^{\circ}\text{C}$, на выходе из бланкета $\sim 600^{\circ}\text{C}$, затем эта соль поступает в теплообменник, где отдает тепло теплоносителю второго контура - соли с содержанием натрия и фтора. Соль второго контура охлаждается в теплообменнике второго контура, где отдает свое тепло воде третьего контура с давлением 1 МПа и температурой на выходе 140°C , которая может использоваться в системе теплофикации. Выделение U^{233} из первого контура производится путем байпасного отбора части расплава.

Бланкет с использованием расплава смеси фтористых солей (температура плавления которых превышает 400°C) требует поддержания высокой температуры в контуре циркуляции, превышающей температуру плавления смеси используемых солей. Необходимо устройство для разогрева смеси солей в контуре до соответствующей температуры и поддержания этой температуры тогда, когда плазма в ТЯР отсутствует. Смесь фтористых солей обладает высокой коррозионной активностью, что требует применения в качестве конструкционных материалов сплавов с высоким содержанием никеля, что нежелательно, т.к. они активируются нейтронами.

Бланкет с расплавом фтористых солей обладает следующими недостатками:

1. Высокая рабочая температура осложнит работу криогенных сверхпроводящих катушек ТЯР.
2. Применение никелевых сплавов нежелательно, т.к. они активируются нейтронами.
3. Химические элементы, входящие в состав фтористых солей, токсичны.
4. Несмотря на большой объем исследовательских работ, использование фтористых солей в качестве теплоносителей остается проблематичным.

Задачей предлагаемого технического решения является устранение вышеуказанных недостатков, что приведет к повышению технологичности устройства за счет снижения рабочих температур, исключения токсичных и коррозионно-активных веществ, улучшения нейтронно-физических характеристик за счет использования неактивируемых конструкционных материалов.

Технический результат, который может быть получен при использовании предлагаемой конструкции бланкета, заключается в обеспечении:

1. Непрерывной перегрузки сырьевого материала в бланкете.
2. Возможности регулирования состава сырьевого материала в бланкете путем регулирования скорости отбора на извлечение целевых изотопов.
3. Возможности смены типа сырьевого материала без изменения остальной конструкции бланкета.
4. Подкритичности бланкета.
5. Возможности при минимальном количестве конструкционных материалов иметь максимальное количество сырьевого материала.
6. Возможности эксплуатировать бланкет при сравнительно низкой температуре (около 100°C , в то время как в прототипе используется соль при температуре около 600°C).

Для достижения указанного результата предложен бланкет термоядерного реактора, состоящий из, по крайней мере, одного вертикального металлического модуля с раствором сырьевого материала, соединенного патрубками, расположенными в верхней и нижней части, с контуром циркуляции, и байпасным контуром с устройством для
 5 извлечения из раствора целевых изотопов и радиоактивных отходов, при этом модуль частично заполнен кипящим водным раствором сырьевого материала, а паровое пространство модуля соединено верхним патрубком с контуром циркуляции, включающим последовательно установленные паровую турбину и конденсатор водяного пара, параллельно которому включен аварийный конденсатор и предохранительный
 10 клапан.

Кроме того:

- в верхней части модуль соединен с устройством для рекомбинации продуктов радиолиза воды;
- модуль в нижней части соединен трубопроводом с установленной в нем пробкой
 15 из материала с температурой плавления большей, чем рабочая температура раствора сырьевого материала, со сливной емкостью.
- в качестве раствора сырьевого материала используют водный раствор уранил-сульфата UO_2SO_4 для наработки Pu^{239} из U^{238} ;
- в качестве раствора сырьевого материала используют водный раствор тория-
 20 сульфата ThO_2SO_4 для наработки U^{233} из Th^{232} ;
- в качестве раствора сырьевого материала используют водные растворы гидроксида лития LiOH , или нитрида лития LiNO_3 , или хлорида лития LiCl , или сульфата лития Li_2SO_4 для наработки трития;
- в качестве раствора сырьевого материала используют раствор, содержащий
 25 минорные актиниды.

Предложенный бланкет состоит по меньшей мере из одного металлического модуля (емкости) с верхним и нижним патрубками, причем нижняя часть внутреннего объема
 30 модуля заполнена кипящим водным раствором сырьевого материала (в дальнейшем - просто раствором), а верхняя часть модуля не заполнена раствором, там образуется объем, заполненный парогазовой смесью и который соединен верхним патрубком с паровым контуром циркуляции.

Раствор нагревается до температуры кипения внутренним энерговыделением, вызванным нейтронным излучением из плазмы, и энерговыделением при трансмутации
 35 изотопов. Температура кипения раствора регулируется поддержанием соответствующего давления в парогазовом объеме.

Часть растворителя (воды) из раствора испаряется, отводится через верхний патрубок и проходит последовательно установленные паровую турбину и конденсатор водяного
 40 пара, а конденсат затем возвращается в модуль через нижний патрубок, так что общая масса раствора в модуле поддерживается постоянной. Параллельно конденсатору установлен предохранительный клапан, соединенный с аварийным конденсатором.

Тепло, выделяющееся в растворе, преобразуется в электроэнергию в турбине. В качестве турбины можно использовать паровую турбину МК-6-1 производства
 45 Ленинградского металлического завода (С.М. Лосев. Паровые турбины и конденсационные устройства. Теория, конструкции и эксплуатация. Издание десятое, переработанное, М.-Л., Издательство «Энергия», 1965, с. 134-135). Мощность турбины - 6 МВт при 3000 об/мин. Турбина рассчитана на начальные параметры пара - давление 1,2 ата (0,12 МПа) и температура 110°C. Допустимо работать также паром при давлении

1,5 ата и при температуре до 150°C в течение не более двух часов.

Для расчета основных параметров - температур, давления и пр., которые зависят от конструктивного выполнения и параметров конкретного бланкета, возможно использовать методики расчета для выпарных аппаратов (Ред. И.И. Чернобыльский.
5 "Машины и аппараты химических производств", М., Машиностроение, 1975).

Непрерывная перегрузка осуществляется путем байпасного отбора части раствора для выделения из него целевых изотопов или продуктов трансмутации радиоактивных отходов (в частности, минорных актинидов). Одновременно происходит подпитка модуля свежим раствором, так что общая масса раствора в модуле и его химический
10 состав поддерживаются постоянными.

Раствор имеет сравнительно низкую температуру (около 110°C) и низкое давление (около 0,12 МПа), что упрощает конструкцию модуля.

Сущность предлагаемого изобретения (при использовании бланкета в ТЯР) поясняется фигурами.

15 Принципиальная схема бланкета показана на Фиг. 1. Цифрами обозначены:

- 1 - плазма в разрядной камере; 2 - первая стенка; 3 - модули бланкета;
- 4 - отвод пара в турбину и конденсатор; 5 - наружный корпус бланкета;
- 6 - катушка магнитной системы; 7 - возврат конденсата в модуль.

Схема поперечного сечения бланкета показана на Фиг. 2. Цифрами обозначены:

- 20 1 - плазма в разрядной камере; 2 - первая стенка; 3 - модули бланкета; 9 - железобетонная нейтронная защита.

Схема конструкции модуля бланкета показана на Фиг. 3. Цифрами обозначены: 1 - плазма в разрядной камере (источник нейтронов); 3 - модуль бланкета; 4 - отвод пара в турбину; 7 - возврат воды (конденсата) из конденсатора; 8 - кипящий раствор в модуле;
25 10 - отбор раствора в систему извлечения целевых изотопов; 11 - возврат раствора из системы извлечения целевых изотопов; 12 - устройство для рекомбинации продуктов радиолитиза воды; 13 - турбина; 14 - конденсатор; 15 - предохранительный клапан; 16 - аварийный конденсатор; 17 - сбросная емкость.

Принцип работы бланкета следующий.

30 Раствор 8 в модуле 3 нагревается нейтронами из плазмы 1 до температуры кипения; так же под действием нейтронов происходит трансмутация элементов в растворе. Часть растворителя (воды) испаряется и пар поступает в турбину 13, а затем в конденсатор 14, где конденсируется и возвращается в модуль 3. Продукты радиолитиза воды поступают в устройство для их рекомбинации 12, откуда вода - продукт рекомбинации - стекает
35 обратно в модуль 3. Из модуля 3 часть раствора 10 отводится в систему извлечения целевых изотопов. После этого раствор 11 возвращается в модуль 3. В случае повышения давления пара до значения выше допустимого срабатывает предохранительный клапан 15 и пар сбрасывается в аварийный конденсатор 16. При повышении температуры раствора или при выпадении осадка, содержащего делящиеся изотопы, в модуле плавится
40 пробка в его нижней части и раствор через сливной трубопровод поступает в сбросную емкость 17.

Предлагаемая конструкция, в зависимости от предъявляемых к бланкету требований, может иметь различные варианты конкретного выполнения.

В качестве конструкционного материала можно использовать циркониевые или
45 алюминидовые сплавы, хорошо освоенные в ядерной энергетике.

Для приготовления раствора УС можно использовать обедненный, природный и обогащенный уран.

Раствор может быть уран-, торий-, литийсодержащим или содержать минорные

актини́ды (растворы с актинидами получают при переработке облученного ядерного топлива на радиохимических заводах (Б.В. Громов и др. "Химическая технология облученного ядерного топлива", М., Энергоатомиздат, 1983).

В качестве раствора могут быть использованы следующие жидкости:

- водный раствор УС для наработки Pu^{239} из U^{238} ;
- водный раствор тория-сульфата ThO_2SO_4 для наработки U^{233} из Th^{232} ;
- водные растворы гидроксида лития LiOH , нитрида лития LiNO_3 , хлорида лития LiCl , сульфата лития Li_2SO_4 для наработки трития;
- раствор, содержащий минорные актиниды.

Модуль бланкета может иметь не только цилиндрическую, но и иную форму. При подборе соответствующей формы возможна установка одного модуля в одной секции бланкета. В этом случае достигается максимальное отношение объема сырьевого материала к объему конструкций бланкета, т.к. общий объем конструкционных материалов (металла) сравнительно невелик, а другие конструкционные материалы (например, отличный от раствора теплоноситель) и пустоты отсутствуют.

При возникновении аварийной ситуации с потерей отвода тепла от раствора и при продолжении его кипения начнется рост давления пара в модуле. Далее возможны несколько вариантов развития событий.

- Повышенное давление пара в модуле вызовет срабатывание предохранительного клапана 15, и пар будет сбрасываться в аварийный конденсатор 16 - аварийная ситуация будет локализована. Аварийный конденсатор обязательно будет присутствовать в ТЯР для локализации аварий, связанных с истечением теплоносителя из первой стенки и дивертора.

- Предохранительный клапан 15 не сработает, и рост давления в модуле продолжится. Это вызовет повышение температуры кипения раствора, и температура раствора будет повышаться. В случае возникновения рассматриваемой аварийной ситуации материал пробки, закрывающий сливной трубопровод, расплавится. Образовавшийся расплав и раствор из модуля стекут в сбросную емкость 17.

- Система безопасности работает также в случае роста температуры раствора, вызванного повышением концентрации в нем радиоактивных изотопов (например, из-за отказа устройства для извлечения из раствора целевых изотопов и радиоактивных отходов) и соответствующего увеличения тепловыделения.

- Также при применении растворов, содержащих уран, возможно выпадение из раствора осадка - пероксида урана. Благодаря предложенной конструкции модуля осадок в нем будет скапливаться в его нижней, конической части, непосредственно на пробке. Тепловыделение в содержащихся в осадке делящихся элементах и продуктах распада приведет к росту температуры осадка. Пробка расплавится, и раствор из модуля стечет в сбросную емкость. Это гарантирует невозможность образования критической массы в осадке.

Предлагаемая конструкция бланкета будет иметь следующие преимущества:

- простота конструкции, загрузки и выгрузки сырьевого материала;
- низкое давление (около 0,1 МПа) и низкая температура (около 100°C) в модуле;
- пожаробезопасность;
- невозможность накопления большого количества гремучей смеси, которую обеспечивает устройство для рекомбинации продуктов радиолиза воды;
- возможность непрерывной корректировки элементного состава раствора, что, в свою очередь, позволит исключить остановки на перегрузку бланкета и организовать

непрерывное выделение из него целевых изотопов или продуктов трансмутации;

- отсутствие необходимости циркуляции больших масс раствора и соответствующее отсутствие больших трубопроводов, проходящих через криостат, защиту и т.п.;

- возможность быстро сменить тип раствора;

- благодаря высокой теплопроводности раствора невозможно образование зон с повышенным тепловыделением;

- достигается максимальное отношение объема сырьевого материала к объему конструкций blankets, т.к. общий объем конструкционных материалов (металла) сравнительно невелик, а другие конструкционные материалы (например, отличный от сырьевого материала теплоноситель) отсутствуют;

- низкие температуры упрощают конструкцию и уменьшают тепловые нагрузки на сверхпроводящие элементы;

- внутренне присущее свойство саморегулирования. При увеличении тепловой нагрузки на blanket увеличивается количество испаренного растворителя, а температура и масса раствора остаются неизменными.

Дополнительным преимуществом является возможность применения простой и надежной пассивной системы безопасности с плавящейся пробкой.

Пример расчета

Расчет возможности охлаждения blankets с водным раствором УС с помощью испарения части растворителя (воды) выполнен для конструкции, представленной на Фиг. 1-3 и характеризующейся параметрами, приведенными в Таблице 1.

Таблица 1

Наружный диаметр модуля, мм	250
Внутренний диаметр модуля D, мм	242
Высота модуля L, м	3,5
Внутренний объем модуля $V_{\text{внут}}, \text{м}^3$	0,16
Объем металла в модуле (приблизительно) $V_{\text{Me}}, \text{м}^3$	0,04

При исследовании blankets с водным раствором УС (см., Кутеев Б.В. и др. "Нейтронно-физические исследования термоядерного источника нейтронов для получения максимального потока тепловых нейтронов". Вопросы атомной науки и техники, серия "Термоядерный синтез", 2013, вып. 1, стр. 64) было определено q_v - удельное объемное тепловыделение в нем в зависимости от нейтронной нагрузки и расстояния от первой стенки. При нейтронной нагрузке на первую стенку $0,2 \text{ МВт/м}^2$, характерной для ТИН, $q_v \sim 0,2-1 \text{ МВт/м}^3$. Объемное тепловыделение будет также в металлоконструкциях модуля, и для них примем $q_v \text{ Me} \sim 1-3 \text{ МВт/м}^3$.

Тепловая мощность модуля определяется как

$$Q_{\text{мод}} = q_v \cdot V_{\text{внут}} + q_v \text{ Me} \cdot V_{\text{Me}}, \text{ Вт} \quad (1)$$

Теплота парообразования воды при 100°C $r=2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Массу воды, которую необходимо испарять в единицу времени Δt для поддержания постоянной температуры модуля, можно оценить по формуле

$$M_{\text{исп}} = Q_{\text{мод}} \cdot \Delta t / r, \text{ кг.} \quad (2)$$

Массу воды, которую необходимо испарять за секунду, обозначим $M_{\text{исп1}}$.

Исследование фазовой диаграммы системы уранил-сульфат (УС) - вода показало возможность использовать раствор в широком диапазоне концентраций УС и температур

раствора. Возможно применение раствора при концентрации УС от 0 до 10 моль/(кг воды) и при его температуре от 0 до 300°C (Петунии Б.В. "Теплоэнергетика ядерных установок". М., Атомиздат, 1960). Здесь же приведены теплофизические свойства раствора.

Расчеты выполнены для раствора с составом 0,611 (кг УС)/(кг воды), т.е. на 1,611 кг раствора приходится 0,611 кг УС. Масса УС в 1 кг раствора

$$M_{1УС}=0,611/1,611=0,379 \text{ кг/кг.}$$

Массовая концентрация УС $K_{УС}=37,9\%$ или 1,03 (моль УС)/(кг раствора).

При атомном весе урана $A_U=238$ и молекулярном весе УС- МОЛ_{УС}=366 в 1 кг раствора будет содержаться уран в количестве

$$M_{1U}=(A_U/\text{МОЛ}_{УС}) \cdot M_{1УС}=0,246 \text{ кг/кг.}$$

Таким образом, массовая концентрация урана в растворе $K_U=24,6\%$.

Масса воды 1 кг раствора $M_{1В}=1-M_{1УС}=0,621$ кг, и ее массовая концентрация в растворе $K_{\text{воды}}=62,1\%$.

Следует отметить, что температура кипения раствора будет выше температуры кипения растворителя (воды) на величину, называемую температурной депрессией. Для ее определения необходимо экспериментальное исследование свойств раствора.

Известно, что величина температурной депрессии больше при растворении веществ с малым молекулярным весом и при высокой концентрации растворенного вещества. В нашем случае $M_{УС}=366$ сравнительно велик, а его массовая концентрация сравнительно невелика (около 1 моль на кг раствора). В этом случае можно считать, что температура кипения раствора близка к температуре кипения растворителя, т.е. близка к 100°C.

Плотность раствора УС в воде

$$\rho_{\text{раст}} = 1/((78,65/K_U) - 1,046) \cdot 10^3 + \rho_{\text{воды}}, \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

где $\rho_{\text{воды}}$ - плотность воды при давлении насыщенного пара при рабочей температуре, кг/м³.

Плотность раствора при температуре его кипения 100°C по (3)

$$\rho_{\text{раст}}=1423 \text{ кг/м}^3, \text{ масса раствора в модуле } M_{\text{раст}}=V_{\text{внут}} \cdot \rho_{\text{раст}}=228 \text{ кг.}$$

$$\text{Масса воды в модуле } M_{\text{воды}}=M_{\text{раст}} \cdot K_{\text{воды}}=141 \text{ кг.}$$

В таблице 2 «Тепловые характеристики модуля бланкета при различных величинах удельного тепловыделения в материалах» приведены расчеты тепловых характеристик модуля при различных значениях q_v и q_{vMe} , которые охватывают весь возможный диапазон их значений.

Таблица 2

Характеристики модуля	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
q_v , МВт/м ³	0,2	0,5	1
q_{vMe} , МВт/м ³	1	2	3
$Q_{\text{мод}}$, МВт	0,072	0,16	0,28
$M_{\text{исп1}}$, кг	0,032	0,071	0,124
$M_{\text{исп1}}/M_{\text{воды}}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$

Данные таблицы 2 показывают, что при любой возможной тепловой мощности модуля бланкета для его охлаждения каждую секунду необходимо испарять не более $8,8 \cdot 10^{-4}$ от массы воды в нем, что вполне допустимо.

Предлагаемая конструкция бланкета будет иметь следующие преимущества:

- простота конструкции, загрузки и выгрузки сырьевого материала;
- низкое давление (около 0,1 МПа) и низкая температура (около 100°C) в модуле;
- пожаробезопасность;
- 5 - невозможность накопления большого количества гремучей смеси, которую обеспечивает устройство для рекомбинации продуктов радиолиза воды;
- возможность непрерывной корректировки элементного состава раствора, что, в свою очередь, позволит исключить остановки на перегрузку бланкета и организовать непрерывное выделение из него целевых изотопов или продуктов трансмутации;
- 10 - отсутствие необходимости циркуляции больших масс раствора и соответствующее отсутствие больших трубопроводов, проходящих через криостат, защиту и т.п.;
- возможность быстро сменить тип раствора;
- благодаря высокой теплопроводности раствора невозможно образование зон с повышенным тепловыделением;
- 15 - достигается максимальное отношение объема сырьевого материала к объему конструкций бланкета, т.к. общий объем конструкционных материалов (металла) сравнительно невелик, а другие конструкционные материалы (например, отличный от сырьевого материала теплоноситель) отсутствуют;
- низкие температуры упрощают конструкцию и уменьшают тепловые нагрузки на
- 20 сверхпроводящие элементы;
- внутренне присущее свойство саморегулирования. При увеличении тепловой нагрузки на бланкет увеличивается количество испаренного растворителя, а температура и масса раствора остаются неизменными.

Дополнительным преимуществом является возможность применения простой и

надежной пассивной системы безопасности с плавающей пробкой.

Конструкция сбросной емкости должна исключать возможность образования в ней критической массы.

Расчеты показывают принципиальную возможность создания бланкета подобной

конструкции.

(57) Формула изобретения

1. Бланкет термоядерного реактора, состоящий из, по крайней мере, одного вертикального металлического модуля, соединенного патрубками, расположенными в верхней и нижней части, с контуром циркуляции, и байпасным контуром с устройством

для извлечения из раствора целевых изотопов и радиоактивных отходов, отличающийся

тем, что модуль частично заполнен кипящим водным раствором сырьевого материала, а паровое пространство модуля соединено верхним патрубком с контуром циркуляции, включающим последовательно установленные паровую турбину и конденсатор водяного

пара, параллельно которому включен аварийный конденсатор и предохранительный клапан.

2. Бланкет по п. 1, отличающийся тем, что в верхней части модуль соединен с устройством для рекомбинации продуктов радиолиза воды.

3. Бланкет по п. 1, отличающийся тем, что в нижней части модуль соединен трубопроводом с установленной в нем пробкой из материала с температурой плавления

большой, чем рабочая температура раствора сырьевого материала, со сливной емкостью.

4. Бланкет по п. 1, отличающийся тем, что в качестве раствора сырьевого материала используют водный раствор уранил-сульфата UO_2SO_4 для наработки Pu^{239} из U^{238} .

5. Бланкет по п. 1, отличающийся тем, что в качестве раствора сырьевого материала

используют водный раствор тория-сульфата ThO_2SO_4 для наработки U^{233} из Th^{232} .

6. Бланкет по п. 1, отличающийся тем, что в качестве раствора сырьевого материала используют водные растворы гидроксида лития LiOH , или нитрида лития LiNO_3 , или
5 хлорида лития LiCl , или сульфата лития Li_2SO_4 для наработки трития.

7. Бланкет по п. 1, отличающийся тем, что в качестве раствора сырьевого материала используют раствор, содержащий минорные актиниды.

10

15

20

25

30

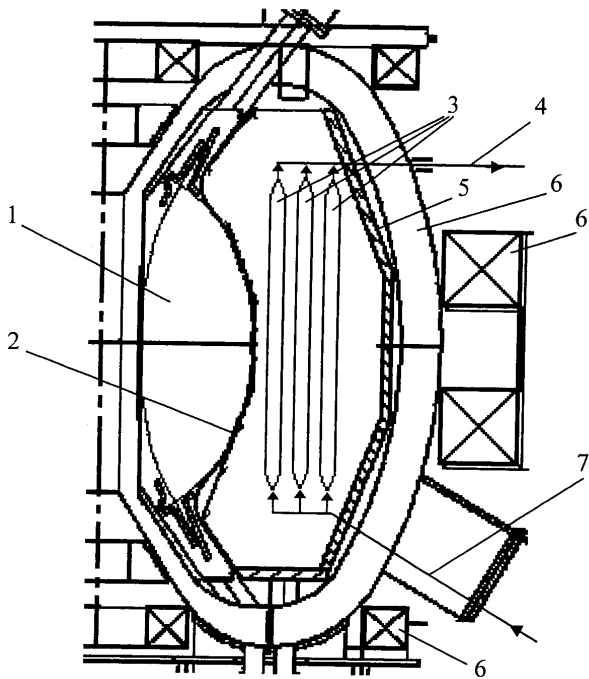
35

40

45

1

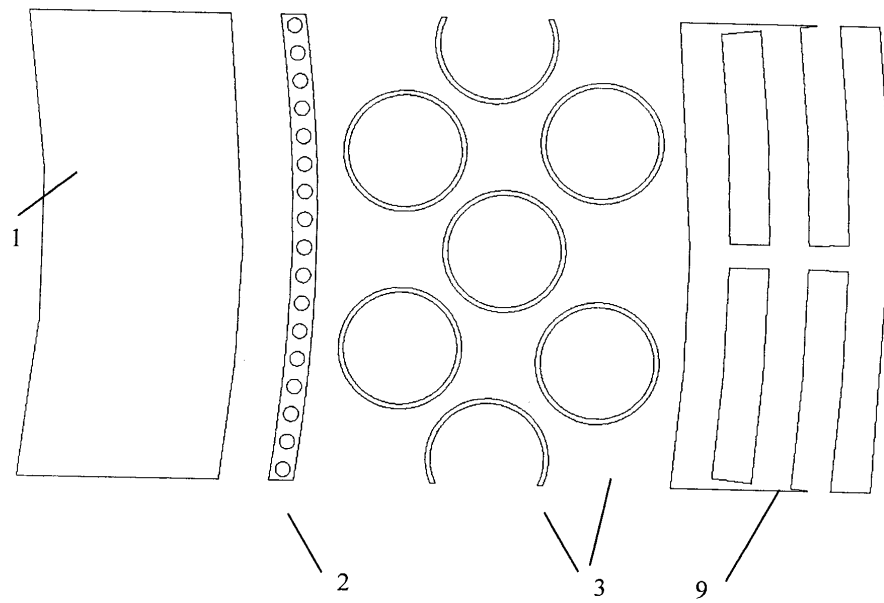
Бланкет термоядерного реактора



Фиг. 1

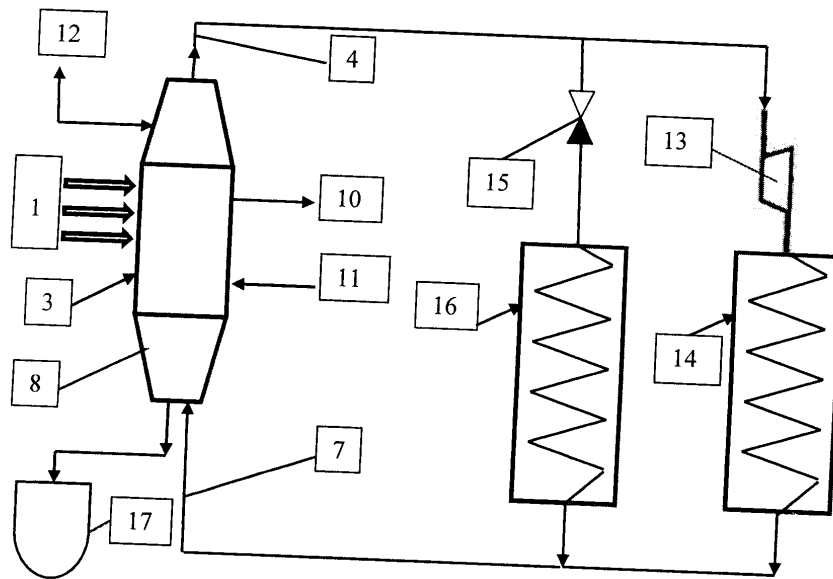
2

Бланкет термоядерного реактора



Фиг. 2

Бланкет термоядерного
реактора



Фиг. 3