

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045072**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.10.27**

(21) Номер заявки  
**202190741**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.10.09**

(51) Int. Cl. **G21C 3/62** (2006.01)  
**B01D 46/00** (2006.01)  
**C01G 43/025** (2006.01)  
**F27B 7/00** (2006.01)  
**G21C 19/48** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ДИОКСИД УРАНА**

---

(43) **2021.07.21**

(86) **PCT/FR2018/052494**

(87) **WO 2020/074791 2020.04.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФРАМАТОМ (FR)**

(56) **FR-A1-2771725**  
**WO-A1-0247794**  
**FR-A1-2778908**

(72) Изобретатель:  
**Фёжье Андре, Месона Брюно, Якуби  
Ален (FR)**

(74) Представитель:  
**Фелицына С.Б. (RU)**

---

(57) Способ превращения включает стадии гидролиза  $UF_6$  в оксифторид урана ( $UO_2F_2$ ) в реакторе гидролиза (4) путем взаимодействия между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыснутым в реактор (4), пирогидролита  $UO_2F_2$  до  $UO_2$  в печи пирогидролита (6) путем взаимодействия  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыснутым внутрь печи (6), удаления избыточного газа из реактора (4) с помощью собирающего устройства (50), включающего несколько фильтров (52), периодической очистки фильтров (52) путем впрыскивания нейтрального газа в фильтры (52) извне в направлении внутренней части реактора (4), для того чтобы удалить порошок, застрявший на фильтрах (52), и измерения относительного давления в реакторе (4), причем способ превращения дополнительно включает осуществление разовой очистки фильтров (52), когда относительное давление в реакторе (4) превышает заранее заданный порог очистки.

**B1**

**045072**

**045072**

**B1**

### Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к области получения порошка диоксида урана ( $UO_2$ ), в частности, предназначенного для производства гранул  $UO_2$  для стержней ядерного топлива.

Возможно обогащение урана в форме гексафторида урана ( $UF_6$ ). Однако затем необходимо превратить  $UF_6$  в  $UO_2$ , чтобы получить гранулы  $UO_2$ .

Для выполнения задачи необходимо превратить газообразный  $UF_6$  в оксифторид урана ( $UO_2F_2$ ) путем гидролиза в реакторе, впрыскивая газообразный  $UF_6$  и сухой водяной пар в реактор, чтобы получить порошок  $UO_2F_2$ , затем превращают  $UO_2F_2$  порошок в  $UO_2$  порошок путем пирогиридолиза в печи, циркулируя порошок  $UO_2F_2$  в печи и впрыскивая сухой водяной пар и газообразный водород ( $H_2$ ) в печь.

Для получения порошка  $UO_2$  однородного качества печь может быть оборудована устройством, обеспечивающим интенсивное перемешивание порошка  $UO_2F_2$  и стимулирующим контакт  $UO_2F_2$  порошка с водородом и водяным паром.

Побочным продуктом, образующимся при последовательном превращении  $UF_6 \rightarrow UO_2F_2 \rightarrow UO_2$ , является газообразный фтористый водород (HF), который является очень токсичным и корродирующим веществом.

Процесс гидролиза проводят в атмосфере нейтрального газа (или инертного газа) предпочтительно в атмосфере азота. Для выполнения процесса нейтральный газ вводят в реактор, создавая поток газа, продувающего реактор.

На стадии производства, для того чтобы избежать избыточного давления в установке превращения, нейтральный газ, избыток реакционных газов и фтористый водород, образующийся при превращении, можно откачивать через фильтры, предназначенные для удержания частиц в суспензии, особенно частиц  $UO_2F_2$  и  $UO_2$ .

Эти фильтры постепенно забиваются и могут регулярно раскупориваться путем подачи противотоком нейтрального газа.

С целью предотвращения с образования порошковых агломератов на внутренней стенке печи пирогиридолиза установка превращения может быть снабжена ударными элементами, которые ударяют по внешней стенке печи.

### Уровень техники

В патенте США US 6136285 описана указанная установка для превращения  $UF_6$  в  $UO_2$  для осуществления такого способа превращения.

В указанном способе превращения  $UO_2$  образуется в форме спекаемого порошка, для того чтобы получить  $UO_2$  гранулы путем спекания.

Трудно получать постоянно качественный  $UO_2$  порошок, т.е. обладающий удовлетворительными характеристиками, в частности, по показателям кажущейся плотности, удельной площади поверхности, размера частиц и химического состава.

С целью удовлетворения требований использования в атомной промышленности, порошок  $UO_2$ , предназначенный для формирования гранул  $UO_2$ , должен быть однородным. Он должен иметь минимально возможный уровень примесей (главным образом, фтора) и предпочтительно меньше, чем 50 ч/млн (50 мкг/г  $UO_2$ ), удельную площадь поверхности между 1 и 4 м<sup>2</sup>/г, отношение кислород/уран между 1,80 и 2,50% и относительную влажность меньше чем 1%. Порошок должен обладать хорошей способностью к смешению и способностью к самопроизвольному течению (текучесть), таким образом обеспечивается возможность поддерживать высокую интенсивность производства гранул. Предпочтительно он также имеет однородное распределение частиц по размерам (нормальное распределение) реакционную способность к естественному спеканию (или спекаемость), что обеспечивает возможность получения спеченных керамических гранул с плотностью выше чем 96,5% от теоретической плотности  $UO_2$  и твердостью выше чем 1,5 Н (15 даН/м).

С целью получения однородного  $UO_2$  порошка постоянного качества предпочтительно, чтобы установка превращения работала непрерывно и без срывов. Накопление порошка на фильтрующих элементах вызывает нарастающее закупоривание фильтров, причем результирующее возрастающее падение давления приводит к повышению внутреннего давления в установке превращения. Такое изменение давления может привести к выключению установки превращения для того, чтобы очистить или заменить фильтры, до достижения предела безопасности установки превращения в результате превышения порогового давления.

В патенте США US 7422626 рекомендован способ достижения эффективного и однородного режима без закупоривания фильтров фильтрующих элементов и без прерывания откачивания газов, и таким образом повышается эффективность установки.

Однако описанный способ не оптимизирован и может привести к изменению технологических параметров установки превращения и к изменению характеристик полученного порошка  $UO_2$ .

### Краткое изложение изобретения

Одной из задач изобретения является разработка способа превращения  $UF_6$  в  $UO_2$ , который дает возможность повысить выход продукта в способе превращения при получении однородного порошка  $UO_2$  постоянного качества.

С этой целью в изобретении разработан способ превращения гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ), который включает в себя стадии

гидролиза  $UF_6$  в оксифторид урана ( $UO_2F_2$ ) в реакторе гидролиза путем взаимодействия между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыснутым в реактор;

пирогидролита  $UO_2F_2$  в  $UO_2$  в печи пирогидролита путем взаимодействия  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыснутым внутрь печи;

удаления избыточного газа из реактора с помощью улавливающего устройства захвата, включающего несколько фильтров;

периодической очистки фильтров путем подачи нейтрального газа в фильтры извне в направлении внутренней части реактора, для того чтобы удалить порошок, застрявший на фильтрах; и

измерения относительного давления в реакторе,

причем способ превращения дополнительно включает осуществление разовой очистки фильтров, когда относительное давление в реакторе превышает заранее заданный порог очистки.

Согласно конкретным вариантам осуществления способ превращения включает в себя одну или несколько из следующих необязательных характеристик, взятых отдельно или в любой технической выполнимой комбинации:

способ включает введение нейтрального промывочного газа в реактор таким образом, чтобы превращение  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  протекало в атмосфере азота;

сухой водяной пар и  $H_2$  вводят внутрь печи (6) таким образом, чтобы осуществить циркуляцию в печи (6) против потока  $UO_2F_2$ , в направлении реактора;

способ включает прекращение работы установки превращения, если относительное давление в реакторе превышает заданный порог безопасности;

порог безопасности находится между 100 и 500 миллибар, предпочтительно между 200 и 450 миллибар;

предварительно заданный порог очистки устанавливается, например, в диапазоне на 100 миллибар ниже порога безопасности и, например, на 50 миллибар ниже, предпочтительно 30 миллибар ниже порога безопасности;

способ включает осуществление вибрации и/или ударов в стенку реактора, предпочтительно регулярно или непрерывно в течение превращения;

вибрация осуществляется с помощью колебательного устройства, содержащего по меньшей мере один ударный элемент, имеющий конфигурацию, обеспечивающую вибрацию и/или удары в стенку реактора, непосредственно или через промежуточную деталь, например, съемную промежуточную деталь;

способ включает этап ударного воздействия о поверхность удара печи во время превращения  $UO_2F_2$  в  $UO_2$ , для того чтобы удалить порошок  $UO_2F_2$  или  $UO_2$ , прилипший к внутренней поверхности печи;

печь включает вращающийся барабан, принимающий  $UO_2F_2$ , внутрь которого впрыскивается сухой водяной пар и  $H_2$ , причем поверхность удара находится на внешней поверхности барабана;

этап ударного воздействия осуществляется с использованием по меньшей мере одного ударного устройства, включающего боек, который перемещается относительно сотрясаемой поверхности и промежуточной детали, расположенной между бойком и поверхностью удара, таким образом, чтобы боек стучал в поверхность удара через промежуточную деталь, причем промежуточная деталь перемещается между положением, расположенным на расстоянии от поверхности удара, и положением удара, находящимся в контакте с поверхностью удара.

Кроме того, изобретение относится к установке превращения, предназначенной для осуществления способа превращения, который определен выше.

#### **Краткое описание чертежей**

Изобретение и его преимущества может лучше понять при чтении следующего описания, изложенного исключительно с помощью примеров, и со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых

фиг. 1 представляет собой схематичный чертеж установки для превращения  $UF_6$  в  $UO_2$ ;

фиг. 2 является схематичным чертежом ударного устройства для ударного воздействия на печь пирогидролита; и

фиг. 3 представляет собой схематичный чертеж устройства выделения газообразного  $UF_6$  для непрерывной подачи в реактор гидролиза.

Установка превращения 2, иллюстрируемая фиг. 1, включает реактор гидролиза 4 для превращения  $UF_6$  в порошок  $UO_2F_2$ , путем взаимодействия между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыснутым в реактор 4.

Установка превращения 2 включает печь пирогидролита 6 для превращения  $UO_2F_2$  порошка, поступающего в реактор 4, в  $UO_2$  порошок, путем взаимодействия порошка  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным  $H_2$ , впрыснутым внутрь печи 6.

Установка превращения 2 включает устройство подачи 8, предназначенное для введения реакционноспособных газов (газообразный  $UF_6$ , сухой водяной пар газообразный  $H_2$ ) в реактор 4 и внутрь печи 6.

Устройство подачи 8 подает из источников реакционноспособные газы, включающие по меньшей мере один источник газообразного  $UF_6$ , по меньшей мере один источник сухого водяного пара и по

меньшей мере один источник газообразного  $H_2$ .

Устройство подачи 8 включает каналы 10 введения реагентов для впрыскивания реакционноспособных газов в реактор 4 и внутрь печи 6. Каналы 10 введения реагентов включают в себя канал введения для подачи  $UF_6$  в реактор 4, первый канал введения сухого водяного пара для снабжения реактора 4, второй канал введения сухого водяного пара для снабжения печи 6 и канал введения  $H_2$  для снабжения печи 6.

Устройство подачи 8 дополнительно предназначено для введения нейтрального газа в реактор 4, особенно в период производства на установке превращения 2, для того чтобы превращение  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  протекало в атмосфере нейтрального газа. Предпочтительно в этом случае устройство подачи 8 предназначено для обеспечения подачи нейтрального газа в реактор 4 без впрыскивания нейтрального газа внутрь печи 6.

В последующем нейтральный газ, введенный в реактор 4 в период производства для осуществления превращения  $UF_6$  в  $UO_2F_2$ , называется "нейтральным промывочным газом".

Предпочтительно устройство подачи 8 предназначено для введения нейтрального промывочного газа вместе с сухим водяным паром ( $H_2O$ ) и  $UF_6$ .

Для осуществления этого в качестве иллюстрирующего примера устройство подачи 8 включает, например, концентрический инжектор 11, обеспечивающий возможность введения сухого водяного пара ( $H_2O$ ),  $UF_6$  и нейтрального промывочного газа концентрическим способом, т.е. с образованием трех концентрических впрыскиваемых струй.

Предпочтительно устройство подачи 8 дополнительно предназначено для введения нейтрального газа в реактор 4 и внутрь печи 6, для того чтобы обеспечить поддержание атмосферы нейтрального газа в реакторе 4 и в печи 6, когда установка превращения 2 не работает.

Таким образом, в период производства устройство подачи 8 вводит нейтральный промывочный газ в реактор 4 с целью превращения  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  в атмосфере нейтрального газа без впрыскивая нейтрального газа внутрь печи 6, а в момент выключения и в период пуска устройство подачи 8 вводит нейтральный газ в реактор 4 и внутрь печи 6 с целью сохранения атмосферы нейтрального газа.

Устройство подачи 8 включает один или несколько каналов нейтрального газа 12 для введения нейтрального газа в реактор 4 и/или внутрь печи 6. Каждый канал введения 12 нейтрального газа снабжается из источника нейтрального газа. Предпочтительно нейтральный газ представляет собой азот ( $N_2$ ).

В иллюстрированном примере концентрический инжектор 11 запитывается от трубопровода 10 введения реагента для снабжения реактора 4 водяным паром ( $H_2O$ ) по каналу введения реагента 10 для снабжения реактора 4 реагентом  $UF_6$  и по каналу введения 12 нейтрального газа для впрыскивания нейтрального промывочного газа в реактор 4. В качестве варианта устройство подачи 8 может быть предназначено для снабжения канала введения реагента 10 для снабжения реактора 4 водяным паром ( $H_2O$ ) и/или канала введения 10 для снабжения реактора 4 реагентом  $UF_6$  с нейтральным газом при выключении или запуске установки превращения 2.

Устройство подачи 8 включает соответствующий исполнительный механизм 14 подачи, расположенный на входе каждого канала реагентом 10 или для введения нейтрального газа 12, причем исполнительный механизм 14 подачи, обеспечивает возможность контроля потока газа в канале впрыскивания.

Предпочтительно исполнительные механизмы подачи 14 разработаны в форме регуляторов расхода, удобных для поддержания пропускаемого потока газа на заданной величине расхода.

Предпочтительно и с целью устранения любого риска утечки  $UF_6$  исполнительные механизмы подачи 14 устройства подачи 8 выдерживают сейсмические нагрузки.

Установка превращения 2 включает систему электронного управления 16 для регулирования установки превращения 2 и, в частности, устройства подачи 8, особенно исполнительных механизмов подачи 14.

Как иллюстрирует фиг. 1, реактор 4 устанавливает границы реакционной камеры 18, внутри которой открыты каналы 10 введения реагентов, обеспечивается снабжение реактора 4 газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, и в которых протекает превращение  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  путем гидролиза. Полученный таким образом  $UO_2F_2$  имеет вид порошка, падающего на дно реакционной камеры 18.

Реактор 4 имеет отводящий трубопровод 20, тянущийся от реакционной камеры 18 и подключенный к печи 6, для того чтобы транспортировать порошок  $UO_2F_2$  со дна реакционной камеры 18 в печь 6.

Установка превращения 2 включает в себя термическую камеру 22, окружающую реактор 4 и нагревательное устройство 24 для нагревания внутреннего объема термической камеры 22 и, следовательно, реактора 4.

Печь 6 имеет входной патрубок 26, связанный с отводящим каналом 20 реактора 4 для приема  $UO_2F_2$  порошка, выпускное отверстие 28 для подачи порошка  $UO_2$ .

Установка превращения 2 включает транспортирующее устройство 30 для перемещения порошка  $UO_2F_2$  из реакционной камеры 18 в печь 6. Транспортирующее устройство 30 изобретения включает в себя моторизованный винтовой конвейер, снабженный двигателем для перемещения порошка  $UO_2F_2$  из реакционной камеры 18 во входной патрубок 26 печи 6.

Печь 6 включает барабан 32, имеющий центральную ось С, на осевом конце которой образуется входной патрубок 26, тогда как на противоположном осевом конце формируется выпускное отверстие 28

печи 6.

Барабан 32 предусмотрен для циркуляции порошка  $UO_2F_2$  от входного патрубка 26 к выпускному отверстию 28 с циркуляцией сухого водяного пара и  $H_2$  в печи 6 против потока порошка  $UO_2F_2$ .

Барабан 32 свободно вращается относительно центральной оси С, наклоненной относительно горизонтали, так что входной патрубок 26 находится выше выпускного отверстия 28, причем при вращении барабана 32 порошок продвигается из входного патрубка 26 в направлении выпускного отверстия 28.

Печь 6 включает моторизованное устройство 33 вращательного движения, предназначенное для вращательного движения барабана 32 относительно центральной оси С. Устройство 33 вращательного движения 33 включает, например, двигатель и транспортирующее устройство, например цепь или ленту, соединяющее двигатель с барабаном 32.

В качестве варианта печь 6 может быть снабжена удобной кривошипной рукояткой, которая позволяет вручную поворачивать барабан 32 в случае неисправности устройства 33 вращательного движения.

Предпочтительно барабан 32 снабжен перегородками 35, расположенными внутри барабана 32 с целью регулирования потока реакционноспособных газов и времени пребывания порошка в печи 6.

Необязательно барабан 32 снабжен подъемными элементами 37, выступающими из внутренней поверхности барабана 32 и предназначенными для подъема и сбрасывания порошка, находящегося в барабане 32, благодаря вращению барабана 32 вокруг центральной оси С с целью улучшения смешивания порошка и обеспечения равномерного контакта порошкообразных частиц с реакционноспособными газами, циркулирующими в барабане 32. Подъемные элементы 37 выполнены, например, в виде подъемных лопастей или подъемных уголков, распределенных сверху внутренней поверхности барабана 32.

В эффективном варианте осуществления барабан 32 печи 6 и транспортирующее устройство 30 реакционной камеры 18 предназначены для независимой работы, особенно для обеспечения отключения любого из устройств, при поддержании эксплуатации другого устройства.

В показанном примере барабан 32 печи 6 и транспортирующее устройство 30 реакционной камеры 18 предназначены для независимого вращения с одной стороны винта транспортирующего устройства 30 и барабана 32 с другой стороны и особенно для прекращения вращения одного из винта или барабана 32 при поддержании вращения другого.

Указанная компоновка дает возможность в периоды прекращения работы установки превращения 2 завершить удаление порошка  $UO_2$  из печи 6, в то время как реактор 4 и особенно транспортирующие устройства 30 уже остановлены.

В показанном примере второй канал введения водяного пара и канал введения  $H_2$  снабжают барабан 32 через выпускное отверстие 28 для циркуляции сухого водяного пара из пирогидролиза и  $H_2$  из выпускного отверстия 28 во входной патрубок 26 печи 6.

В показанном примере канал введения нейтрального газа 12 соединен с каналом введения реагента 10 для впрыскивания  $H_2$  внутрь печи 6 и/или с каналом введения реагента 10 для впрыскивания  $H_2O$  внутрь печи 6, для того чтобы впрыскивать нейтральный газ внутрь печи 6 по каналу впрыскивания реагента (реагентов) 10, в период прекращения работы или запуска установки превращения 2, затем впрыснутый нейтральный газ циркулирует из выпускного отверстия 28 печи 6 во входной патрубок 26 печи 6. В качестве альтернативы или варианта устройство подачи 8 включает канал введения нейтрального газа 12 для впрыскивания нейтрального газа внутрь печи 6, который открыт непосредственно внутри печи 6 без пропускания через канал введения реагента 10.

Снабжение канала введения реагента 10 нейтральным газом, когда прекращается работа установки превращения 2, дает возможность продувать этот канал введения реагента 10 при прекращении работы, в то время как впрыскивается нейтральный газ. Снабжение канала введения реагента 10 нейтральным газом в период запуска обеспечивает повышение температуры установки превращения 2 и подачу реагентов в установку превращения 2, когда достигаются параметры реакции в реакторе 4, и соответственно в печи 6.

Печь 6 включает нагревательное устройство 34 для нагревания барабана 32. Нагревательное устройство 34 содержит нагревающие элементы 36, окружающие барабан 32 и распределенные вдоль барабана 32. Печь 6 включает термическую камеру 38, окружающую барабан 32, и нагревающие элементы 36.

Установка превращения 2 включает собирающее устройство 40 для сбора порошка на выпускном отверстии печи 6. Собирающее устройство 40 включает входной канал 42, соединенный с выпускным отверстием 28 печи 6, и вход в собирающий контейнер 44. Собирающее устройство 40 включает термическую камеру 46, окружающую собирающий контейнер 44. Предпочтительно второй канал введения паров и канал введения  $H_2$  открыты внутрь собирающего контейнера 44.

Установка превращения 2 включает улавливающее устройство 50 для улавливания и удаления газов, возвращаемых обратно в реактор 4, в том числе избыточные реакционноспособные газы, фтористый водород (HF), образующийся при превращении, и нейтральный газ.

Улавливающее устройство 50 расположено в реакторе 4, предпочтительно в верхней части реакционной камеры 18.

Улавливающее устройство 50 включает множество фильтров 52 для удержания твердых веществ,

которые могут быть увлечены газами, возвращаемыми обратно в реактор 4, в частности частицы  $UO_2F_2$ , или даже  $UO_2$ .

Фильтры 52 выполнены, например, из пористого материала, который обеспечивает прохождение избыточных реакционноспособных газов, нейтрального газа и  $HF$ , образующийся при превращении  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  и затем в  $UO_2$ , в то же время способен удерживать частицы  $UO_2F_2$  или  $UO_2$ . В предпочтительном варианте осуществления фильтры 52 выполнены из керамики или из сверхпрочного сплава на основе никеля.

Порошки  $UO_2F_2$  и  $UO_2$  являются летучими и легко увлекаются с потоком газа. Кроме того, они стремятся прилипнуть к поверхности, с которой они контактируют.

При эксплуатации возникают порошковые агломераты, более или менее неоднородные в терминах состава, и более или менее компактные на фильтрах 52 и на стенках реактора 4 и печи 6. Указанные порошковые агломераты, содержащие расщепляющийся материал, в частности, могут концентрироваться в задерживающих зонах, которые могут находиться в различных местах установки превращения 2, например таких, как соединение между реактором 4 и печью 6.

Порошковые агломераты могут отламываться под действием своей массы и смешиваться с порошками  $UO_2F_2$  и  $UO_2$  в порошкообразном состоянии. Присутствие компактных кластеров в порошке создает неоднородность при обработке порошка в печи 6 и может привести к наличию остаточных частиц  $UO_2F_2$  в порошке  $UO_2$ , полученном в конце превращения, таким образом, ухудшается качество продукта.

Кроме того, накопление порошка на фильтрах 52 вызывает нарастающее закупоривание фильтров 52 и вызывает повышение внутреннего давления в реакторе 4. Изменения давления оказывает значительное воздействие на поддержание постоянного качества порошка  $UO_2$ , полученного в конце превращения, причем избыточно высокое внутреннее давление в реакторе 4 может привести к проблемам безопасности установки превращения 2.

Когда фильтры 52 закупорены порошками  $UO_2F_2$  и/или  $UO_2$ , необходимо отключать установку превращения 2 и очищать или заменять фильтры 52, что является трудоемкой и дорогой операцией.

Закупоривание также может происходить на уровне устройства для впрыскивания реагентов в реактор 4 в месте концентрического инжектора 11. Фактически, если давление впрыскивания и температура газа являются недостаточными,  $UF_6$  может кристаллизоваться в выпускном отверстии концентрического инжектора 11 и, таким образом, блокировать подачу реагентов в реактор 4. Следовательно, важно поддерживать постоянное давление подачи, особенно когда меняется источник  $UF_6$ .

Преимущественно установка превращения 2 включает устройство очистки 53, предназначенное для очистки фильтров 52, например, путем импульсного введения нейтрального газа противотоком через фильтры 52, т.е. в направлении внутренней части реакционной камеры 18 реактора 4. Нейтральным газом является, например, азот ( $N_2$ ).

Введение нейтрального газа противотоком ответственно за нарушение баланса давления внутри реактора 4. Желательно проводить очистку в регулируемом режиме в соответствии с заданными параметрами, для того чтобы ограничить возмущения при эксплуатации реактора 4, и конкретно давление внутри реактора 4.

Преимущественно устройство очистки 53 предназначено для осуществления очистки фильтров 52 в автоматизированном режиме, путем последовательного проведения очистки отдельных групп фильтров 52.

Затем устройство очистки 53 предназначено для введения противотоком нейтрального газа, последовательно в различные группы фильтров 52. Каждая группа фильтров 52 включает отдельный фильтр 52 или несколько фильтров 52.

В предпочтительном варианте осуществления фильтры 52 группируются в две группы, каждая из которых содержит соответствующую половину фильтров 52, и очистка осуществляется попеременно в этих двух группах, причем введение нейтрального газа проводится периодически, например, каждые 30 с. Кроме того, можно проводить цикл очистки, например, по три или по четыре и/или приспособлять частоту впрыскивания.

Давление впрыскивания нейтрального газа противотоком в каждый фильтр 52 подбирают таким образом, чтобы ограничить возмущения в реакторе 4. Предпочтительно относительное давление, прилагаемое к каждому фильтру 52, составляет между 2 и 5 бар, особенно между 3 и 4,5 бар, что дает возможность получения удовлетворительной очистки фильтров 52. Если в тексте не указано другое, выражение "относительное давление" относится к разности давления относительно атмосферы.

С целью обеспечения постоянного давления впрыскивания нейтрального газа устройство очистки 53, например, снабжается из резервуара 55, содержащего нейтральный газ, где поддерживается постоянное давление.

Длительность введения нейтрального газа противотоком в каждый фильтр 52 подбирают таким образом, чтобы ограничить возмущения в реакторе 4 и в то же время обеспечить удовлетворительную очистку, особенно всей поверхности фильтров 52 в течение периода введения. Длительность введения нейтрального газа противотоком в каждый фильтр 52 составляет, например, меньше чем 1 с.

Предпочтительно в течение введения нейтрального газа противотоком в каждый фильтр 52, улавли-

вающее устройство 50 предназначено, для того чтобы отключить всасывание через указанный фильтр 52 до введения нейтрального газа противотоком с целью предотвращения просачивания нейтрального газа, применяемого для очистки непосредственно через улавливающее устройство 50.

Предпочтительно устройство очистки 53 предназначено для циклической (периодической) очистки, особенно в течение периода, выбранного для устранения накопления порошка на фильтрах 52, в то время как ограничивается воздействие указанного введения на эксплуатацию установки превращения 2. Предпочтительно этот период составляет между 30 с и 1 мин.

Таким образом, в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления устройство очистки предназначено для повторения последовательности автоматизированного и циклического (или периодического) очистки.

Автоматизированная и циклическая очистка фильтров 52 дает возможность обеспечить эксплуатацию установки превращения 2, например, при относительном давлении в реакторе 4 между 10 и 500 миллибар, предпочтительно между 50 и 400 миллибар и более предпочтительно между 100 и 350 миллибар, что дает возможность получить порошок  $UO_2$ , обладающий удовлетворительными характеристиками, в особенности с приемлемым содержанием фтора, которое практически постоянно в течение времени.

Очистка фильтров 52 вызывает падение кластеров порошка, образовавшихся на фильтрах 52, и предотвращает избыточное повышение давления в реакционной камере 18.

Последовательная и периодическая очистка дает возможность ограничить размеры и степень уплотнения агломератов твердого вещества, образовавшихся на фильтрах 52 и предотвратить их отделение под действием собственного веса и их падение за счет гравитации в слишком большом количестве на дно реакционной камеры 18 в транспортирующем устройстве 30. Смесь компактных агломератов с порошком  $UO_2F_2$  в порошкообразном состоянии фактически может привести к неоднородности физических и химических характеристик порошка  $UO_2$ , который получается в процессе и особенно содержании фтора в продукте.

Очистка, проведенная в группах из нескольких фильтров 52, предотвращает прилипание порошка, вытесненного из фильтров 52, к другим фильтрам 52, что могло бы произойти при индивидуальной очистке фильтров 52. Очистка, проведенная в группах из нескольких фильтров 52, дает возможность генерировать аэрозоль порошка и ограничить образование комков.

В качестве необязательного дополнения к последовательной и периодической очистке устройство очистки 53 может включать ручное или автоматическое регулирование для обеспечения разовой очистки фильтров 52, особенно когда приближается окончание их использования и последовательная и периодическая очистка становится неэффективной. Указанная разовая очистка может проводиться путем очистки одного фильтра 52 или путем очистки группы фильтров 52 более мелкого размера.

Как показано на фиг. 1, предпочтительно установка превращения 2 дополнительно включает по меньшей мере одно колебательное устройство 56, предназначенное для предотвращения накопления порошка на стенках реакционной камеры 18 и прилипания на стенках реакционной камеры 18 кластеров порошка, удаленных из фильтров 52 во время проведения очистки.

Колебательное устройство 56 дает возможность облегчить непрерывный поток порошка и стабильные условия снабжения печи 6 порошком  $UO_2F_2$  в показателях количества, а также качества и особенно при стабильном содержании фтора во времени.

Предусмотрено вибрирование и/или ударное воздействие колебательного устройства по меньшей мере на одну стенку реактора 4 предпочтительно регулярно или непрерывно.

Колебательное устройство 56 включает, например, один или несколько ударных элементов, причем каждый ударный элемент предназначен для ударного воздействия на стенку реактора 4, для того чтобы генерировать ударную волну в стенках реактора 4, и/или один или несколько вибрирующих элементов, например вибрирующие резервуары, причем вибрирующий элемент расположен на стенке реактора 4, предназначен для генерирования вибрирующего сигнала (или вибрации), и передает эту вибрацию стенкам реактора 4. В предпочтительном варианте осуществления колебательное устройство 56 включает один или несколько элементов, которые генерируют ударное воздействие, чтобы снять порошок со стенки, а также вибрацию, которая облегчает течение порошка.

В последующем ударные элементы, вибрирующие элементы и элементы, выполняющие эти две функции, называются "ударными элементами".

Таким образом, обычно колебательное устройство включает по меньшей мере один элемент, предназначенный для вибрации и/или удара о стенку реактора 4.

Ударные элементы обеспечивают регулярную или даже непрерывную вибрацию стенок реактора 4.

Колебательное устройство 56 изобретения включает четыре ударных элемента 58, например, типа электрического бойка, расположенных попарно в двух диаметрально противоположных положениях внешней поверхности стенки реактора 4.

Преимуществом, когда колебательное устройство 56 включает несколько ударных элементов 58 и когда реактор 4 находится в эксплуатации, осуществляется последовательная работа ударных элементов 58.

Количество, положение и последовательность работы ударных элементов 58 могут находиться в зависимости от геометрии реактора 4, качества порошка и технологических параметров устройства очист-

ки 53.

Каждый ударный элемент 58 может быть прикреплен непосредственно на стенке реактора 4 или, например, с помощью промежуточной детали. В этом случае промежуточная деталь может быть, например, съемной, чтобы облегчить ее обслуживание.

Комбинация устройства очистки 53 и колебательного устройства 56 дает возможность ограничить размер и степень уплотнения кластеров порошка, которые осаждаются на фильтрах 52 и на стенках реактора 4, чтобы регулировать падение кластеров на дно реактора 4 и таким образом обеспечить однородность порошка  $UO_2$ , особенно содержание фтора, которое является практически постоянным во времени.

Установка превращения 2 включает уплотняющие устройства 54 для того, чтобы обеспечить уплотнение между транспортирующим устройством 30 и реакционной камерой 18, между реактором 4 и печью 6 и между печью 6 и собирающим устройством 40. Уплотняющие устройства 54 расположены в соединении между транспортирующим устройством 30 и реакционной камерой 18, в соединении между выпускным отверстием канала 20 реактора 4 и входным патрубком 26 печи 6 и в соединении между выпускным отверстием 28 печи 6 и каналом входа 42 в собирающее устройство 40. Уплотняющие устройства 54 обеспечивают уплотнение, допуская вращение транспортирующего устройства 30 относительно реактора 4 и вращение барабана 32 печи 6 относительно реактора 4 и собирающего устройства 40.

Уплотняющие устройства 54 опрессовывают инертным газом и предпочтительно азотом.

С указанной целью, как показано на фиг. 1, установка превращения 2 включает, например, устройство подачи повышенного давления 57, предусмотренное для подачи в уплотняющие устройства 54 сжатого инертного газа.

Давление нейтрального газа, подаваемого в уплотняющие устройства 54, больше давления, которое имеется в установке превращения 2, для того чтобы предотвратить любое диспергирование порошка вне установки превращения 2. На практике нейтральный газ для опрессовывания уплотняющих устройств 54 может проходить в реактор 4 и/или внутрь печи 6, причем технологические параметры реактора 4 и печи 6 проектируются с учетом указанной подачи нейтрального газа.

Установка превращения 2 включает по меньшей мере одно ударное устройство 60 для ударов о поверхность 62 печи 6, для того чтобы удалить порошки  $UO_2F_2$  или  $UO_2$  с внутренней поверхности барабана 32.

Установка превращения 2 изобретения включает ударное устройство 60, расположенное на каждом осевом конце барабана 32, чтобы ударять по поверхности удара 62, образованной на внешней поверхности осевого конца барабана 32, исходящей по оси термической камеры 38 печи 6. В качестве варианта поверхность удара 62 может быть определена как любая другая поверхность печи 6, обеспечивающая возможность передачи вибрации на периферийную стенку барабана 32, при ударе о поверхность удара 62 печи 6.

Преимущественно установка превращения 2 может содержать несколько ударных устройств 60, расположенных на одном конце барабана 32, распределенных под углом вокруг барабана 32.

В предпочтительном варианте осуществления установка превращения 2 включает две группы ударных устройств 60, причем каждая группа расположена на соответствующем краю двух концов барабана 32 и ударные устройства 60 каждой группы распределены под углом вокруг барабана 32.

Ударные устройства 60 аналогичны. Только одно ударное устройство 60 показано более подробно на фиг. 2.

Как показано на фиг. 2, каждое ударное устройство 60 включает боек 64, передвигающийся относительно поверхности удара 62 в направлении удара Р, и промежуточную деталь 66, расположенную между бойком 64 и поверхностью удара 62, таким образом, чтобы боек 64 ударял по поверхности удара 62 через промежуточную деталь 66, причем промежуточная деталь 66 передвигается в направлении удара Р между положением, находящемся на расстоянии от поверхности удара 62, и положением находящимся в контакте с поверхностью удара 62 печи 6.

Здесь направление удара Р является перпендикулярным к плоскости, касательной поверхности удара 62 в точке контакта промежуточной детали 66 с поверхностью удара 62. Здесь направление удара Р является практически радиальным относительно центральной оси С барабана 32.

Боек 64 перемещается ударным исполнительным механизмом 68, подходящим для движения бойка 64 с возвратно-поступательным перемещением в направлении удара Р. Здесь ударный исполнительный механизм 68 представляет собой гидравлический или пневматический цилиндр двойного действия.

Ударное устройство 60 имеет опору 70, несущую исполнительный механизм 68 и промежуточную деталь 66 таким образом, чтобы промежуточная деталь 66 располагалась между бойком 64 и поверхностью удара 62. Промежуточная деталь 66 смонтирована подвижно на опоре 70, следуя направлению удара Р.

Промежуточная деталь 66 имеет тыльную поверхность 66А, предназначенную для удара бойком 64, и переднюю поверхность 66В, предназначенную для контакта с поверхностью 62 ударного воздействия. В положении контакта передняя поверхность 66В контактирует с поверхностью удара 62, в то время как в удаленном положении, передняя поверхность 66В удалена от поверхности удара 62.

Ударное устройство 60 включает упругий возвратный элемент 72, размещенный для возврата промежуточной детали 66 в удаленное положение. Промежуточная деталь 66 помещена в корпусе 74

опоры 70, причем упругий элемент 72 помещается между внутренним выступом 74А корпуса 74 и внешним выступом 66С промежуточной детали 66.

Здесь упругий элемент 72 представляет собой цилиндрическую пружину, окружающую промежуточную деталь 66 и сжатую, когда промежуточная деталь 66 перемещается из удаленного положения в положение контакта.

Ударное устройство 60 включает датчик положения 76, обеспечивающий возможность определения положения бойка 64. Датчик положения 76 представляет собой, например, индуктивный датчик, расположенный вблизи промежуточной детали 66, и обеспечивающий возможность определения, находится ли боек 64 в положении контакта с промежуточной деталью 66 или нет. Ударный исполнительный механизм 68 регулируется в зависимости от сигнала положения, поступающего от датчика положения 76.

При эксплуатации ударный исполнительный механизм 68 перемещает боек 64 возвратно-поступательным движением таким образом, чтобы боек 64 двигался вдаль от промежуточной детали 66 и затем боек 64 располагался напротив промежуточной детали 66, для удара о поверхность удара 62 с помощью промежуточной детали 66.

Боек 64 перемещает промежуточную деталь 66 из удаленного положения в положение контакта с упругим элементом 72.

Повторяющиеся ударные воздействия бойка 64 могут повредить сам боек 64 и внешнюю поверхность барабана 32. Предусмотренная промежуточная деталь 66, отделенная от бойка 64 и постоянно не связанная с печью 6, обеспечивает применение промежуточной детали 66 в качестве одноразовой детали или изнашиваемой детали. В показанном примере смонтированная промежуточная деталь 66 может перемещаться относительно печи 6.

Получение порошка  $UO_2$ , обладающего удовлетворительными характеристиками, в частности, с содержанием примесей, особенно фтора, меньше чем 50 ч/млн, с однородным распределением частиц по размерам, находящимся, например, в диапазоне от 20 до 100 мкм, и имеющего удельную площадь поверхности меньше чем  $4 \text{ м}^2/\text{г}$ , зависит от технологических условий гидролиза и пирогидролиза, особенно от скорости подачи реагентов и от температуры.

Устройство подачи 8 предназначено для подачи реагентов и нейтрального газа, в частности нейтрального промывочного газа, с заданными скоростями подачи.

Нагревательное устройство 24 реактора 4 предназначено для поддержания температуры в реакционной камере 4 в соответствующем диапазоне, чтобы получить порошок  $UO_2F_2$  и затем порошок  $UO_2$  с желательными характеристиками.

Преимущественно в течение периода стабильного производства часовая массовая скорость подачи газообразного  $UF_6$  в реактор 4 находится между 75 и 130 кг/ч, часовая массовая скорость подачи сухого водяного пара в реактор 4 находится между 15 и 30 кг/ч и температура в реакторе 4 находится между 150 и 250°C.

Указанные диапазоны параметров позволяют получить порошок  $UO_2F_2$  и окончательно позволяют получить порошок  $UO_2$  с желательными характеристиками. В частности, указанные диапазоны параметров позволяют получить порошок  $UO_2$ , имеющий удельную площадь поверхности частиц между 1 и  $4 \text{ м}^2/\text{г}$ , предпочтительно между 1,9 и  $2,9 \text{ м}^2/\text{г}$ . Кроме того, в указанных диапазонах параметров можно получить порошок  $UO_2$  с остаточным содержанием фтора (F) меньше чем 50 ч/млн, предпочтительно меньше чем 35 ч/млн и более предпочтительно меньше чем 20 ч/млн.

В эффективном варианте осуществления, часовая массовая скорость подачи газообразного  $UF_6$  в реактор 4 находится между 90 и 120 кг/ч и часовая массовая скорость подачи сухого водяного пара в реактор 4 находится между 20 и 25 кг/ч.

Для предотвращения кристаллизации  $UF_6$  во время впрыскивания в реактор 4 температура подачи  $UF_6$  в реактор 4 находится между 75 и 130°C, предпочтительно между 90 и 120°C.

В конкретном варианте осуществления установка превращения 2 включает устройство выделения, позволяющее получить непрерывный поток  $UF_6$  в реактор 4 с регулируемой скоростью и температурой  $UF_6$ .

Реагент  $UF_6$  транспортируют в резервуарах, имеющих, например, цилиндрическую форму. При комнатной температуре  $UF_6$  находится в твердом состоянии. Переход из твердого состояния в газообразное состояние осуществляется путем нагревания резервуаров, например, в камере для нагрева, в частности в печи (не водонепроницаемой) или в автоклаве (водонепроницаемый).

Как показано на фиг. 3, установка превращения 2 имеет устройство выделения 82 для снабжения реактора 4 газообразным  $UF_6$  из резервуаров 84, содержащих  $UF_6$ . Каждый резервуар 84 закрыт герметичным клапаном 85.

Устройство выделения 82 включает по меньшей мере две камеры для нагрева 86, причем предусмотрено, что каждая камера для нагрева 86 принимает из резервуара 84 реагент  $UF_6$  в твердом состоянии, где происходит нагрев с образованием газообразного  $UF_6$ , при этом устройство выделения 82 предназначено для снабжения реактора 4 последовательно из камеры для нагрева 86, проходя из проточной камеры для нагрева 86 в следующую камеру для нагрева 86, когда резервуар 84, помещенный в указанной проточной камере для нагрева 86, уже недостаточно заполнен, предпочтительно без прерывания по-

тока газообразного  $UF_6$ , снабжающего реактор 4. Предпочтительно в каждой камере для нагрева 86 можно нагревать и выдерживать соответствующий резервуар 84 при температуре выше тройной точки  $UF_6$ , например при температуре  $75^\circ C$  и предпочтительно при номинальной температуре  $95^\circ C$ , например  $95 \pm 10^\circ C$ .

Таким образом, устройство выделения 82 включает контур подачи 87, предназначенный для выделения  $UF_6$  в реактор 4 селективно из одной из камер для нагрева 86, в то время как в другой камере для нагрева 86 нагревается резервуар 84 в состоянии ожидания выделения  $UF_6$  из этого резервуара 84 или в камеру повторно загружается резервуар 84, заполненный  $UF_6$ .

Каждая камера для нагрева 86 подключена к реактору 4, например, с помощью клапана 88 для регулирования соответствующей скорости потока, закрытие которого дает возможность изолировать камеру для нагрева 86 от реактора 4, в то время как открытие клапана дает возможность соединить текучей средой камеру для нагрева 86 с реактором 4. Открытие клапана 85 на резервуаре 84 и затем клапана 88 обеспечивает поток  $UF_6$  из камеры для нагрева 86 в реактор 4 благодаря перепаду давления между резервуаром 84 и реактором 4. Затем камера для нагрева 86 находится в режиме пассивного выделения.

В качестве варианта каждый резервуар 84 соединен с реактором 4 с помощью соответствующего насоса 90, связанного с каждой камерой для нагрева 86 и расположенного параллельно с клапаном 88, связанным с указанной камерой для нагрева 86. Предпочтительно насос 90 представляет собой поршневой насос прямого вытеснения и более предпочтительно поршневой насос прямого вытеснения с сильфонами.

Активация насоса 90 дает возможность форсировать циркуляцию газообразного  $UF_6$  из камеры для нагрева 86 в реактор 4, когда давление в резервуаре 84, находящемся в камере для нагрева 86, является недостаточным для обеспечения указанной циркуляции. Затем камера для нагрева 86 находится в режиме активного выделения. Когда клапан 88 открыт, насос 90 шунтируется.

Устройство выделения 82 включает, например, устройство для открывания клапана соответствующего резервуара 84 снаружи каждой камеры для нагрева 86 и электронный блок управления 92, предназначенный для регулирования клапана 88 и в случае необходимости насоса 90, связанного с каждой камерой для нагрева 86, и обеспечивает энергоснабжение последовательно из камеры для нагрева 86 и в случае необходимости переход из пассивного режима в активный режим для каждой камеры для нагрева 86.

Устройство выделения 82 предназначено, например, для регулирования пропускания из одной камеры для нагрева 86 в следующую и в случае необходимости перехода из пассивного режима в активный режим некоторым образом в зависимости от давления в каждом резервуаре 84.

С этой целью устройство выделения 82 включает, например, датчик давления 94, связанный с каждым резервуаром 84, электронный блок управления 92, предназначенный для регулирования клапана 88 и в случае необходимости насоса 90, связанный с каждой камерой для нагрева 86 согласно измерениям, предоставленным датчиками давления 94.

В начале цикла производства резервуар 84 нагревается в первой камере для нагрева 86, предпочтительно в атмосфере нейтрального газа с целью улучшения теплообмена между атмосферой камеры для нагрева 86 и резервуаром 84. Нейтральным газом является, например, азот. При достижении требуемой температуры, т.е. когда твердый  $UF_6$  ожижается и  $UF_6$  в резервуаре 84 находится в фазовом равновесии жидкость/газ, и после открытия уплотняющего клапана 85 резервуара 84 открывается клапан 88, расположенный между выпускным отверстием этой первой камеры для нагрева 86 и каналом введения 10 реагента  $UF_6$  в реактор 4, начинается выделение  $UF_6$  в режиме пассивного выделения из указанной первой камеры для нагрева 86. Одновременно начинается нагревание другого резервуара 84 во второй камере для нагрева 86.

Поскольку продолжается выделение  $UF_6$ , давление в резервуаре 84 первой камеры для нагрева 86 падает до величины, близкой по значению к той, которая может вызвать снижение скорости потока  $UF_6$  и изменение направления потока на обратное между реактором 4 и резервуаром 84, находящимся в указанной первой камере для нагрева 86. Тогда в резервуаре 84 еще находятся несколько килограмм  $UF_6$ . До достижения этого этапа первую камеру для нагрева 86 переключают с пассивного режима в активный режим выделения при закрытом клапане 88 и запуске соответствующего насоса 90. Таким образом, выделение  $UF_6$  может продолжаться до исчерпания всего количества  $UF_6$ , содержащегося в резервуаре 84 первой камеры для нагрева 86, например, при абсолютном давлении в резервуаре 84 в конце выделения, равном 100 миллибар. В этот момент температура резервуара 84, находящегося во второй камере для нагрева 86, достигает необходимого значения для выделения  $UF_6$  и открывается уплотняющий клапан 85 резервуара 84. Закрывается клапан 88, связанный с первой камерой для нагрева 86, и открывается клапан 88, связанный со второй камерой для нагрева 86, и выделение  $UF_6$  продолжается из резервуара 84 второй камеры для нагрева 86 без прерывания и без значительного изменения скорости потока, температуры и давления  $UF_6$  во время переключения с первой камеры для нагрева 86 на вторую камеру для нагрева 86. Одновременно клапан 85 резервуара 84, находящийся в первой камере для нагрева 86, закрывается и после охлаждения давление в первой камере для нагрева 86 сбрасывается до атмосферного, камеру открывают, резервуар 84 вакуумируют и заменяют новым резервуаром 84, заполненным реагентом  $UF_6$ .

В качестве варианта и для дополнительного снижения колебаний подачи  $UF_6$  в реактор 4 клапан 88,

связанный со второй камерой для нагрева 86, можно открыть до закрытия клапана 88, связанного с первой камерой для нагрева 86, и выделение  $UF_6$  продолжается из двух резервуаров 84, при этом первая камера для нагрева 86 работает в активном режиме выделения, а вторая камера для нагрева 86 работает в пассивном режиме выделения. Открытие клапана 88, связанного со второй камерой для нагрева 86 может происходить, например, когда клапан 88 закрыт и когда запускается насос 90 первой камеры для нагрева 86 или в любое другое время, до прекращения выделения  $UF_6$  из резервуара 84 первой камеры для нагрева 86.

Предпочтительно, для того чтобы иметь возможность прекратить подачу  $UF_6$  по возможности ближе к источнику выделения при любых обстоятельствах, клапаны 88 являются стойкими к сейсмическим нагрузкам.

Устройство выделения 82 обеспечивает непрерывное производство в установке превращения 2 с использованием почти всего количества  $UF_6$ , содержащегося в резервуарах 84, с выделением  $UF_6$  при заданном давлении и температуре и с необходимой скоростью потока.

Предпочтительно в реактор 4 поступает сухой водяной пар гидролиза при температуре подачи между 175 и 300°C, особенно между 200 и 270°C.

Предпочтительно в печь 6 поступает сухой водяной пар из воды пирогидролитического с часовой массовой скоростью подачи между 25 и 40 кг/ч, особенно между 30 и 35 кг/ч.

Кроме того, предпочтительно в печь 6 поступает сухой водяной пар из воды пирогидролитического при температуре подачи между 250 и 450°C, предпочтительно между 300 и 400°C.

Предпочтительно объемная скорость потока для снабжения печи 6 водородом ( $H_2$ ) составляет между 10 и 25  $nm^3/ч$ , особенно между 15 и 20  $nm^3/ч$  (" $nm^3/ч$ " означает нормальный кубометр в час и представляет собой единицу измерения количества газа, которое соответствует объему в один кубометр газа, находящегося в условиях нормальной температуры и давления (20°C и 1 атм)). Водород обычно впрыскивается при комнатной температуре.

Параметры введения нейтрального промывочного газа, поданного в реактор 4, влияют на протекание реакций в реакторе 4.

Предпочтительно скорость подачи нейтрального промывочного газа в реактор 4 находится между 1,5 и 5  $nm^3/ч$ , температура введения нейтрального промывочного газа находится между 80 и 130°C, относительное давление подачи указанного нейтрального промывочного газа является больше относительно давления внутри реактора 4 и предпочтительно меньше чем 1 бар.

В конкретном варианте осуществления скорость подачи нейтрального промывочного газа находится между 2 и 3  $nm^3/ч$  и температура введения нейтрального промывочного газа находится между 90 и 105°C.

Кроме того, нагревающие элементы 36 печи 6 регулируются, чтобы в печи 6 установилась постепенно возрастающая и затем снижающаяся температура от входного патрубка 26 печи 6 до выпускного отверстия 28 печи 6.

Печь 6 включает, например, несколько последовательных секций, определенных вдоль печи 6, в указанном случае шесть последовательных секций S1-S6 от входного патрубка 26 печи 6 до выпускного отверстия 28 печи 6, причем каждая секция S1-S6 нагрета нагревающими элементами 36, предназначенными для указанных секций S1-S6.

Печь 6 включает соответствующий температурный датчик 80, связанный с каждой секцией S1-S6. Предполагается, что температура каждой секции печи 6 соответствует данным измерения с помощью температурного датчика 80, связанного с указанной секцией. Каждый температурный датчик 80 представляет собой, например, термодатчик рядом с нагревающим элементом 36, связанным с секцией.

Нагревающие элементы 36, предусмотренные для каждой секции S1-S6, регулируются независимо от элементов, предусмотренных для других секций, таким образом, температура, измеренная температурным датчиком 80, расположенным в этой секции, находится при заданном значении.

В эффективном варианте осуществления каждая секция S1-S6 снабжена несколькими температурными датчиками 80, причем температура каждой секции S1-S6 печи 6 определяется как средняя температура, измеренная температурными датчиками 80, связанными с указанной секцией S1-S6.

В эффективном варианте осуществления нагревающие элементы 36 печи 6 регулируют, чтобы установился следующий температурный профиль:

- первая секция S1: между 660 и 700°C;
- вторая секция S2: между 700 и 730°C;
- третья секция S3: между 720 и 745°C;
- четвертая секция S4: между 730 и 745°C;
- пятая секция S5: между 660 и 700°C;
- шестая секция S6: между 635 и 660°C.

Указанный температурный профиль дает возможность регулировать развитие пирогидролитического процесса  $UO_2F_2$ , который представляет собой сложную реакцию, включающую несколько элементарных реакций, которые существенно зависят от температуры.

В период функционирования устройство очистки 53 автоматизировано и регулярно осуществляет периодическое удаление закупоривания. Кроме того, предпочтительно колебательное устройство 56 осуществляет вибрацию и/или ударное воздействие на реактор 4 автоматизировано, регулярно или не-

прерывно и/или ударное устройство 60 автоматизировано и регулярно ударяет печь 6, для того чтобы сбросить порошок, застрявший на внутренних стенках, до того как образуются большие и/или компактные комки.

Тем не менее фильтры 52 могут стать чрезмерно закупоренными в ходе эксплуатации установки превращения 2 по мере их старения.

Повышение относительного давления внутри реактора 4 обычно иллюстрирует тот факт, что очистка фильтров 52 становится неудовлетворительной.

Мониторинг давления внутри реактора 4 дает возможность контролировать эффективность очистки.

Предпочтительно в стабилизированном режиме производства желательнее, чтобы относительное давление внутри реактора 4 оставалось в диапазоне между 10 и 500 миллибар, предпочтительно между 50 и 400 миллибар и более предпочтительно между 100 и 350 миллибар.

Установка превращения 2 включает датчик давления P1 для измерения давления внутри реактора 4.

Предпочтительно, если относительное давление внутри реактора 4 превышает заданный порог безопасности, система управления 16 дает команду на выключение установки превращения 2.

Порог безопасности составляет, например, между 100 и 500 миллибар, предпочтительно между 200 и 450 миллибар и еще более предпочтительно между 200 и 400 миллибар, в частности 350 миллибар.

Преимущественно, если относительное давление внутри реактора 4 превышает заданный порог очистки, устройство очистки 53 регулируется, чтобы проводить очистку фильтров 52.

Указанную разовую очистку можно проводить с давлением впрыскивания в верхней части диапазона давления впрыскивания нейтрального газа для последовательной очистки или даже при давлении впрыскивания больше указанного диапазона. Более того, разовую очистку можно проводить специально для одного или нескольких фильтров 52, например индивидуально для одного или нескольких определенных фильтров 52, которые могут быть заблокированы индивидуально или вместе при ограниченном числе фильтров 52.

Порог осуществления разовой очистки установлен, например, в диапазоне на 100 миллибар ниже безопасного давления в установке и составляет, например, на 50 миллибар и предпочтительно на 30 миллибар ниже порога безопасности установки.

Фактически в случае значительного закупоривания фильтров 52 давление в реакторе 4 быстро повышается, и становится трудно, если не невозможно, очистить фильтры 52 без выключения установки, для того чтобы провести очистку вручную или заменить фильтры, или без возникновения неоднородностей порошка  $UO_2$  на выходе из-за добавления к порошку  $UO_2F_2$  неконтролируемого количества агломератов, падающих с фильтров 52 в устройство транспортирования 30 во время операции очистки.

В течение очистки введение нейтрального газа внутрь каждого фильтра 52 дает возможность выталкивать порошковые частицы  $UO_2F_2$ , захваченные на внешней поверхности фильтров 52, при ограничении возмущений реактора 4, работающего при относительном давлении между 10 и 500 миллибар.

Здесь добавление вибрации и/или ударного воздействия на одну или несколько стенок реактора 4 с помощью оборудования колебательного устройства 56 для реактора 4, также дает возможность удалить частицы порошка  $UO_2F_2$ , которые могут осаждаться на внутренней стенке реактора 4.

В данном случае ударное воздействие на поверхность удара 62 печи 6 ударным устройством 60, дает возможность предотвратить образование кластеров порошка в печи 6, что также могло бы нанести ущерб качеству порошка  $UO_2$ , полученного в установке превращения 2.

Регулирование скорости потоков реакционноспособных газов и нейтрального промывочного газа, а также температуры в реакторе 4 и в печи 6, также позволяет создать условия процессов гидролиза и пирогиридолиза для получения удовлетворительного порошка  $UO_2$ .

Обычно при эксплуатации все газы, впрыснутые в реактор 4 или внутрь печи 6, находятся под давлением, превышающем давление в реакторе 4 или печи 6, например под давлением по меньшей мере на 20 миллибар выше давления внутри реактора 4 или печи 6, предпочтительно по меньшей мере на 50 миллибар выше.

Предоставление ударного устройства для печи 6 является полезным независимо от регулирования способа превращения и параметров превращения.

Таким образом, в целом изобретение относится к установке для превращения гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ), причем установка превращения включает в себя

реактор гидролиза для превращения  $UF_6$  в порошок оксифторида урана ( $UO_2F_2$ ) путем взаимодействия между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром;

печь пирогиридолиза для превращения порошка  $UO_2F_2$ , поступающего из реактора, в порошок  $UO_2$  путем взаимодействия между  $UO_2F_2$ , сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), причем печь имеет ударяемую поверхность; и

по меньшей мере одно ударное устройство для удара о поверхность удара, причем ударное устройство включает боек, который перемещается относительно поверхности удара, и промежуточную деталь, расположенную между бойком и поверхностью удара, таким образом, чтобы боек ударял в поверхность удара через промежуточную деталь, причем промежуточная деталь перемещается между положением, расположенным на расстоянии от поверхности печи, и положением, находящимся в контакте с поверх-

ностью удара печи.

Установка превращения может включать один или несколько из следующих необязательных признаков, взятых отдельно или в любой технически выполнимой комбинации:

ударное устройство включает упругий возвратный элемент, чтобы возвращать промежуточную деталь в удаленное положение;

ударное устройство включает пневматический или гидравлический исполнительный механизм для перемещения бойка;

печь включает вращающийся барабан, принимающий  $UO_2F_2$ , внутрь которого впрыскивается сухой водяной пар и  $H_2$ , причем поверхность ударного воздействия на печь находится на внешней поверхности барабана;

по меньшей мере одно колебательное устройство, предназначенное для вибрации и/или удара по меньшей мере одной стенки реактора и предпочтительно содержащее по меньшей мере один ударный элемент, размещенный на стенке реактора, чтобы обеспечить вибрацию и/или ударное воздействие на стенку непосредственно или через промежуточную деталь, например съемную промежуточную деталь;

по меньшей мере одно улавливающее устройство, предназначенное для улавливания газов, присутствующих в реакторе, и включающее фильтры;

по меньшей мере одно устройство очистки, предназначенное для очистки фильтров, предпочтительно отдельных групп фильтров, причем каждая группа фильтров содержит один или несколько фильтров, в частности, последовательно и/или циклически группы фильтров;

устройство выделения для снабжения реактора реагентом  $UF_6$ , причем устройство выделения содержит по меньшей мере одну камеру для нагрева, одна или каждая камера предназначена для размещения резервуара с  $UF_6$  в твердом состоянии и нагрева резервуара, чтобы генерировать  $UF_6$  в газообразном состоянии, и контур подачи, предназначенный для подачи реагента в реактор из одной или каждой камеры для нагрева;

контур подачи включает насос, связанный с одной или каждой камерой для нагрева, чтобы форсировать циркуляцию  $UF_6$  из резервуара, расположенного в камере для нагрева реактора, причем один или каждый насос предпочтительно представляет собой поршневой насос прямого вытеснения и более предпочтительно поршневой насос прямого вытеснения с сальффонами;

контур подачи включает клапан регулирования потока, связанный с одной или каждой камерой для нагрева и расположенный для шунтирования насоса, связанного с камерой для нагрева.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ превращения гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ), который включает в себя стадии

гидролиза  $UF_6$  в оксифторид урана ( $UO_2F_2$ ) в реакторе гидролиза (4) путем взаимодействия между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыснутым в реактор (4);

пирогидролита  $UO_2F_2$  до  $UO_2$  в печи пирогидролита (6) путем взаимодействия  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыснутым внутрь печи (6);

удаления избыточного газа из реактора (4) с помощью улавливающего устройства (50), включающего несколько фильтров (52);

периодической очистки фильтров (52) путем введения нейтрального газа в фильтры (52) извне в направлении внутренней части реактора (4), для того чтобы удалить порошок, застрявший на фильтрах (52), причем периодическую очистку фильтров повторяют в автоматизированном режиме периодически с интервалом от 30 с до 1 мин; и

измерения относительного давления в реакторе (4),

при этом способ превращения дополнительно включает осуществление разовой очистки фильтров (52), когда относительное давление в реакторе (4) превышает заранее заданный порог разовой очистки, который находится приблизительно на 100 мбар ниже предварительно определенного порога безопасности, и установка превращения прекращает работу, если относительное давление в реакторе (4) превышает заданный порог безопасности.

2. Способ превращения по п.1, который включает впрыскивание нейтрального промывочного газа в реактор (4) таким образом, чтобы превращение  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  протекало в атмосфере азота.

3. Способ превращения по п.1 или 2, в котором сухой водяной пар и  $H_2$  впрыскивают внутрь печи (6) таким образом, чтобы осуществить их циркуляцию в печи (6) против тока  $UO_2F_2$  в реакторе (4).

4. Способ превращения по любому из пп.1-3, в котором порог безопасности находится между 100 и 500 миллибар, предпочтительно между 200 и 450 миллибар.

5. Способ превращения по любому из пп.1-4, в котором порог разовой очистки установлен, например, на 50 миллибар и предпочтительно на 30 миллибар ниже порога безопасности.

6. Способ превращения по любому из пп.1-5, который включает вибрацию и/или удары в стенку реактора (4) предпочтительно регулярно или непрерывно в течение превращения.

7. Способ превращения по п.6, в котором вибрацию осуществляют посредством колебательного

устройства (56), включающего по меньшей мере один ударный элемент (58), предназначенный для вибрации и/или удара в стенку реактора (4) непосредственно или через промежуточную деталь, например съемную промежуточную деталь.

8. Способ превращения по любому из пп.1-7, включающий этап ударного воздействия на поверхность удара (62) печи (6) в течение превращения  $UO_2F_2$  в  $UO_2$ , для того чтобы удалить порошок  $UO_2F_2$  или  $UO_2$ , прилипший к внутренней поверхности печи (6).

9. Способ превращения по п.8, в котором печь (6) включает вращающийся барабан (32), принимающий  $UO_2F_2$ , внутрь которого впрыскивают сухой водяной пар и  $H_2$ , причем поверхность удара (62) находится на внешней поверхности барабана (32).

10. Способ превращения по п.8 или 9, где этап ударного воздействия осуществляют с использованием по меньшей мере одного ударного устройства (60), включающего боек (64), перемещаемый относительно поверхности удара (62) и промежуточной детали (66), расположенной между бойком (64) и поверхностью удара (62), таким образом, что боек (64) ударяет по поверхности удара (62) через промежуточную деталь (66), причем промежуточная деталь (66) перемещается между положением, расположенным на расстоянии от поверхности удара (62), и положением удара, находящимся в контакте с поверхностью удара (62).

11. Установка превращения гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ) для осуществления способа превращения по любому из пп.1-10, содержащая

реактор гидролиза (4) для превращения  $UF_6$  в оксифторид урана ( $UO_2F_2$ ) реакцией между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыснутым в реактор (4);

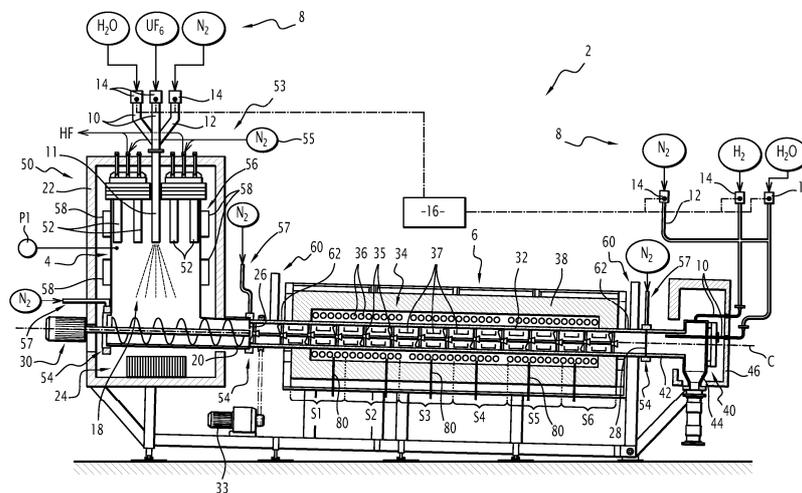
печь пирогидролиза (6) для превращения  $UO_2F_2$  в  $UO_2$  реакцией  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыснутым в печь (6);

улавливающее устройство (50) для улавливания и извлечения избыточного газа в реакторе (4), причем улавливающее устройство (50), содержит несколько фильтров (52);

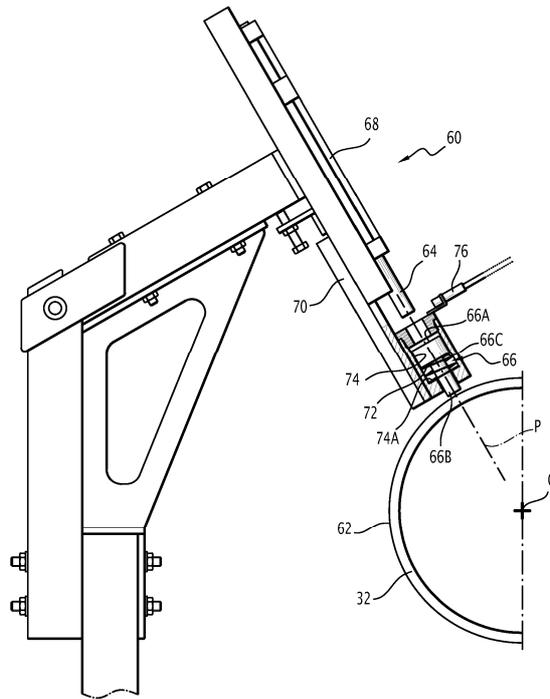
датчик давления (P1) для измерения давления внутри реактора (4); и

устройство (53) для очистки фильтров (52), сконфигурированное для периодической очистки фильтров (52) путем впрыскивания нейтрального газа в фильтры (52) извне в направлении внутренней части реактора (4) для удаления порошка, застрявшего на фильтрах (52),

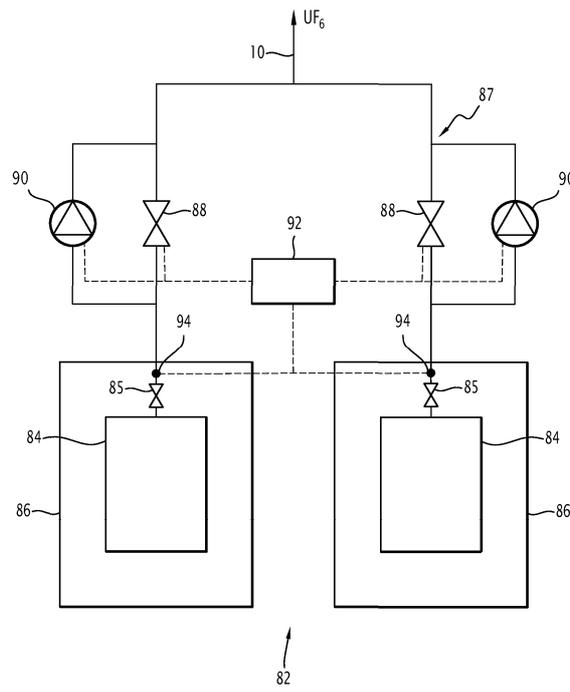
причем установка сконфигурирована с возможностью осуществления периодической очистки фильтров (52) с интервалом от 30 с до 1 мин и установка выполнена с возможностью отключения, когда относительное давление в реакторе (4) превышает заданный порог безопасности на 100 мбар.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3