

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202190742 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2021.08.13

(22) Дата подачи заявки  
2018.10.09

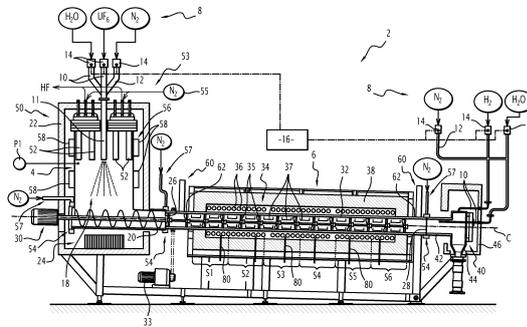
(51) Int. Cl. G21C 3/62 (2006.01)  
C01G 43/00 (2006.01)  
G21C 19/48 (2006.01)  
G21C 21/00 (2006.01)

(54) СПОСОБ И УСТАНОВКА КОНВЕРСИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ДИОКСИД УРАНА

(86) PCT/FR2018/052497  
(87) WO 2020/074792 2020.04.16  
(71) Заявитель:  
ФРАМАТОМ (FR)

(72) Изобретатель:  
Фёжье Андре, Месона Брюно (FR)  
(74) Представитель:  
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Способ конверсии, включающий в себя стадии гидролиза  $UF_6$  до оксифторида урана ( $UO_2F_2$ ) в реакторе (4) гидролиза по реакции между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыскиваемым в реактор (4), и пирогидролиза  $UO_2F_2$  до  $UO_2$  в печи (6) пирогидролиза по реакции  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыскиваемым в печь (6). Почасовая массовая скорость потока газообразного  $UF_6$ , подаваемого в реактор (4), составляет от 75 до 130 кг/ч, почасовая массовая скорость потока сухого водяного пара, подаваемого в реактор (4) для гидролиза, составляет от 15 до 30 кг/ч, а температура внутри реактора (4) составляет от 150 до 250°C.



202190742  
A1

202190742  
A1

## СПОСОБ И УСТАНОВКА КОНВЕРСИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ДИОКСИД УРАНА

Настоящее изобретение относится к области получения порошка диоксида урана ( $\text{UO}_2$ ), предназначенного, в частности, для изготовления пеллет  $\text{UO}_2$  для стержней ядерного топлива.

Уран можно обогащать в форме гексафторида урана ( $\text{UF}_6$ ). Однако затем необходимо превращать  $\text{UF}_6$  в  $\text{UO}_2$  для изготовления пеллет  $\text{UO}_2$ .

Для этого можно превращать газообразный  $\text{UF}_6$  в оксифторид урана ( $\text{UO}_2\text{F}_2$ ) путём осуществления гидролиза в реакторе при впрыскивании газа  $\text{UF}_6$  и сухого водяного пара в реактор для получения порошка  $\text{UO}_2\text{F}_2$ , превращая затем порошок  $\text{UO}_2\text{F}_2$  в порошок  $\text{UO}_2$  путём осуществления пирогидролиза с циркуляцией порошка  $\text{UO}_2\text{F}_2$  в печи и впрыскиванием в неё сухого водяного пара и газообразного водорода ( $\text{H}_2$ ).

Для получения порошка  $\text{UO}_2$  однородного качества печь можно совмещать с устройством, позволяющим энергично перемешивать порошок  $\text{UO}_2\text{F}_2$  и активирующим контакт порошка  $\text{UO}_2\text{F}_2$  с водородом и водяным паром.

Сопутствующий продукт, образующийся в результате последовательных превращений  $\text{UF}_6 \rightarrow \text{UO}_2\text{F}_2 \rightarrow \text{UO}_2$ , представляет собой газообразный фторид водорода ( $\text{HF}$ ), который является очень токсичным и коррозионным.

Реакцию гидролиза осуществляют в атмосфере нейтрального газа (или инертного газа), предпочтительно в атмосфере азота. Для этого в реактор впрыскивают нейтральный газ, образующий газовый поток, омывающий реактор.

Во избежание превышения давления на установке конверсии на этапе получения, нейтральный газ, избыточные реакционноспособные газы и фторид водорода, образующийся в результате превращения, можно откачивать через фильтры, предназначенные для удержания частиц в суспензии, особенно частиц  $\text{UO}_2\text{F}_2$  и  $\text{UO}_2$ .

Фильтры постепенно засоряются, и их можно регулярно прочищать путём впрыскивания нейтрального газа противотоком.

Для предотвращения образования агломератов порошка на внутренней стенке печи пирогидролиза установку конверсии можно оснащать ударными элементами, которые ударяют по внешней стенке печи.

В патенте США 6136285 раскрыта такая установка конверсии  $\text{UF}_6$  в  $\text{UO}_2$ , предназначенная для воплощения такого способа конверсии.

В рамках такого способа конверсии продукт  $\text{UO}_2$  образуется в форме спекаемого порошка для формирования пеллет  $\text{UO}_2$  путём спекания.

Трудно достигать постоянно во времени определённого качества порошка  $UO_2$ , т.е. имеющего удовлетворительные характеристики, в частности, по показателям насыпной плотности, удельной площади поверхности, размеру частиц и химическому составу.

С целью удовлетворения требований для использования в ядерной промышленности, порошок  $UO_2$ , предназначенный для формирования пеллет  $UO_2$ , должен быть однородным. Он должен иметь по возможности наиболее низкую концентрацию примесей (главным образом, фтора), а предпочтительно меньше 50 ч/млн (50 мкг/г  $UO_2$ ), удельную площадь поверхности от 1 м<sup>2</sup>/г до 4 м<sup>2</sup>/г, характеризоваться отношением кислород/уран от 1,80 до 2,50% и относительной влажностью менее 1%. Он должен обладать хорошей смешиваемостью и способностью к образованию самопроизвольного потока (текучестью), что позволяет выдерживать высокие скорости при получении пеллет. Предпочтительно, он также характеризуется однородным распределением частиц по размеру (нормальный закон) и реакционной способностью к естественному спеканию (или спекаемостью), что позволяет достигать плотности спечённой керамической пеллеты, составляющей больше 96,5% от теоретической плотности  $UO_2$ , и твёрдости больше 15 даН/м.

Получение порошка  $UO_2$  постоянного качества требует точной регулировки рабочих параметров установки конверсии, в частности, температур впрыскивания и скоростей потоков различных реагентов, а также условий, в частности, температурных условий, гидролиза и пирогидролиза, как указано в патентах США 6136285, 4112055, 3845193 и 7824640.

Одна из целей данного изобретения заключается в том, чтобы предложить способ конверсии  $UF_6$  в стабильный  $UO_2$ , позволяющий получать порошок  $UO_2$  постоянного, строго определённого качества.

Для этого в изобретении предлагается способ конверсии гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ), включающий в себя стадии гидролиза  $UF_6$  до оксифторида урана ( $UO_2F_2$ ) в реакторе гидролиза по реакции между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыскиваемым в реактор, и пирогидролиза  $UO_2F_2$  до  $UO_2$  в печи пирогидролиза по реакции  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыскиваемым в печь, при этом почасовая массовая скорость потока газообразного  $UF_6$ , подаваемого в реактор (4), составляет от 75 до 130 кг/ч, почасовая массовая скорость потока сухого водяного пара, подаваемого в реактор для гидролиза, составляет от 15 до 30 кг/ч, а температура внутри реактора составляет от 150 до 250°C.

В соответствии с конкретными режимами осуществления, способ конверсии может включать в себя одну или несколько из следующих необязательных характеристик, взятых

по отдельности или в любом технически возможном сочетании:

- способ включает в себя впрыскивание нейтрального продувочного газа в реактор;
- $UO_2$  получают в форме порошка  $UO_2$ , характеризующегося удельной площадью поверхности частиц от  $1 \text{ м}^2/\text{г}$  до  $4 \text{ м}^2/\text{г}$ , а предпочтительно, от  $1,9 \text{ м}^2/\text{г}$  до  $2,9 \text{ м}^2/\text{г}$ ;
- $UO_2$  имеет остаточное содержание фтора (F) меньше 50 ч/млн, предпочтительно, меньше 35 ч/млн;
- $UF_6$ , подаваемый в реактор, находится при температуре от  $75^\circ\text{C}$  до  $130^\circ\text{C}$ , предпочтительно, от  $90^\circ\text{C}$  до  $120^\circ\text{C}$ ;
- сухой водяной пар для гидролиза, подаваемый в реактор, находится при температуре от  $175$  до  $300^\circ\text{C}$ , предпочтительно, от  $200$  до  $270^\circ\text{C}$ ;
- почасовая массовая скорость потока сухого водяного пара, подаваемого в печь для пирогидализа, составляет от  $25$  до  $40 \text{ кг/ч}$ , предпочтительно от  $30$  до  $35 \text{ кг/ч}$ ;
- температура сухого водяного пара, подаваемого в печь для пирогидализа, составляет от  $250$  до  $450^\circ\text{C}$ , предпочтительно, от  $300$  до  $400^\circ\text{C}$ ;
- объёмная скорость потока  $H_2$ , подаваемого в печь, составляет от  $10$  до  $25 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , в частности, от  $15$  до  $20 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ ;
- скорость потока нейтрального продувочного газа, подаваемого в реактор, составляет от  $1,5$  до  $5 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , температура нейтрального продувочного газа, подаваемого в реактор, составляет от  $80^\circ\text{C}$  до  $130^\circ\text{C}$ , а относительное давление нейтрального продувочного газа, подаваемого в реактор, выше относительного давления внутри реактора и предпочтительно ниже 1 бар;
- способ включает в себя подачу газообразного  $UF_6$  в реактор из испускающего устройства, заключающего в себе, по меньшей мере, одну греющую камеру, при этом указанная или каждая греющая камера заключает внутри себя резервуар для  $UF_6$  в твёрдом состоянии и нагревает его для получения  $UF_6$  в газообразном состоянии, а контур подачи выполнен с возможностью питания реактора из указанной или каждой греющей камеры;
- испускающее устройство заключает в себе, по меньшей мере, две греющие камеры, при этом контур подачи выполнен с возможностью последовательного снабжения реактора из греющих камер при переходе от текущей греющей камеры к последующей греющей камере, когда резервуар, размещённый в упомянутой текущей греющей камере, уже недостаточно заполнен;
- подача в реактор из последующей греющей камеры начинается до прекращения подачи из текущей греющей камеры, так что в течение определённого периода времени подача в реактор выполняется одновременно с использованием обеих греющих камер;

- контур подачи включает в себе насос, соединённый с указанной или каждой греющей камерой для осуществления принудительной циркуляции реагента  $UF_6$  из резервуара, размещённого в греющей камере, в направлении реактора, при этом указанный или каждый насос предпочтительно является насосом объёмного действия, а более предпочтительно, насосом объёмного действия с сильфонами;

- контур подачи включает в себе клапан, регулирующий скорость потока, соединённый с указанной или каждой греющей камерой и установленный в обход насоса, соединённого с указанной греющей камерой.

Данное изобретение касается также установки конверсии гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ), включающей в себя реактор для гидролиза  $UF_6$  до порошка оксифторида урана ( $UO_2F_2$ ) по реакции между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыскиваемым в реактор; печь для пирогидролиза порошка  $UO_2F_2$  до порошка  $UO_2$  по реакции порошка  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыскиваемым в печь, и устройство для питания реактора и печи реакционноспособными газами и нейтральным продувочным газом, при этом установка конверсии выполнена с возможностью осуществления такого способа конверсии, как описан выше.

В одном из конкретных вариантов осуществления установка конверсии включает в себя испускающее устройство для питания реактора фторидом  $UF_6$ , заключающее в себе, по меньшей мере, одну греющую камеру, при этом указанная или каждая греющая камера выполнена с возможностью размещения резервуара для реагента  $UF_6$  в твёрдом состоянии и нагревания его для получения  $UF_6$  в газообразном состоянии, а контур подачи выполнен с возможностью снабжения реактора из указанной или каждой греющей камеры.

Настоящее изобретение и его преимущества будут лучше восприниматься при прочтении следующего ниже описания, приводимого исключительно в качестве примера и выполненного со ссылкой на сопроводительные чертежи, в которых:

фиг. 1 представляет собой схему установки конверсии, предназначенной для конверсии  $UF_6$  в  $UO_2$ ;

фиг. 2 представляет собой схему ударного устройства для ударного воздействия на печь пирогидролиза; и

фиг. 3 представляет собой схему устройства для испускания газообразного  $UF_6$ , предназначенного для непрерывного снабжения реактора гидролиза.

Установка 2 конверсии, проиллюстрированная на фиг. 1, включает в себя реактор 4 гидролиза, предназначенный для превращения  $UF_6$  в порошок  $UO_2F_2$  по реакции между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыскиваемым в реактор 4.

Установка 2 конверсии включает в себя печь 6 пирогидроллиза, предназначенную для превращения порошка  $UO_2F_2$ , подаваемого из реактора 4, в порошок  $UO_2$  путём взаимодействия порошка  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным  $H_2$ , впрыскиваемым в печь 6.

Установка 2 конверсии включает в себя устройство 8 для подачи, выполненное с возможностью впрыскивания реакционноспособных газов (газообразного  $UF_6$ , сухого водяного пара и газообразного  $H_2$ ) в реактор 4 и печь 6.

Устройство 8 для подачи питается из источников реакционноспособных газов, включающих в себя, 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 8 для подачи включает в себе трубки 10 впрыска реагентов, предназначенные для впрыскивания реакционноспособных газов в реактор 4 и печь 6. Трубки 10 впрыска реагентов включают в себя трубку впрыска  $UF_6$ , питающую реактор 4, первую трубку впрыска сухого водяного пара, питающую реактор 4, вторую трубку впрыска сухого водяного пара, питающую печь 6, и трубку впрыска  $H_2$ , питающую печь 6.

Устройство 8 для подачи исполнено с дополнительной возможностью впрыскивания нейтрального газа в реактор 4 на установке 2 конверсии, в частности, на этапе получения, так что превращение  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  имеет место в атмосфере нейтрального газа. В данном случае предпочтительно, чтобы устройство 8 для подачи было исполнено с возможностью впрыскивания нейтрального газа в реактор 4 без впрыскивания нейтрального газа в печь 6.

Нейтральный газ, впрыскиваемый в реактор 4 на этапе получения для осуществления конверсии  $UF_6$  в  $UO_2F_2$ , далее в настоящем документе называется «нейтральным продувочным газом».

Устройство 8 для подачи предпочтительно выполнено с возможностью впрыскивания нейтрального продувочного газа вместе с сухим водяным паром ( $H_2O$ ) и  $UF_6$ .

Для этого, как проиллюстрировано в примере, устройство 8 для подачи включает в себя, например, концентрическую форсунку 11, делающую возможным концентрическое впрыскивание сухого водяного пара ( $H_2O$ ),  $UF_6$  и нейтрального продувочного газа, т.е. путём формирования трёх концентрических впрыскиваемых струй.

Предпочтительно устройство 8 для подачи выполнено с дополнительной возможностью впрыскивания нейтрального газа в реактор 4 и печь 6 для обеспечения возможности поддержания атмосферы нейтрального газа в реакторе 4 и печи 6, когда

установка 2 конверсии не работает.

Таким образом, на этапе получения устройство 8 для подачи впрыскивает нейтральный продувочный газ в реактор 4 с целью превращения  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  в атмосфере нейтрального газа, без впрыскивания нейтрального газа в печь 6, а на этапе остановки и запуска устройство 8 для подачи также впрыскивает нейтральный газ в реактор 4 и печь 6 для поддержания атмосферы нейтрального газа.

Устройство 8 для подачи включает в себя одну или несколько трубок 12 впрыска нейтрального газа, предназначенных для впрыскивания нейтрального газа в реактор 4 и/или печь 6. Каждая трубка 12 впрыска нейтрального газа питается из источника нейтрального газа. Нейтральный газ предпочтительно представляет собой азот ( $N_2$ ).

В проиллюстрированном примере концентрическая форсунка 11 питается от трубы 10 впрыска реагентов, снабжающей реактор 4 водяным паром ( $H_2O$ ), от трубки 10 впрыска реагентов, снабжающей реактор 4 фторидом  $UF_6$ , и от трубки 12 впрыска нейтрального газа, предназначенной для впрыскивания нейтрального продувочного газа в реактор 4. Как альтернатива, устройство 8 для подачи может быть выполнено с возможностью питания нейтральным газом трубки 10 впрыска реагентов, снабжающей реактор 4 водяным паром ( $H_2O$ ), и/или трубки впрыска реагентов 10, снабжающей реактор 4 реагентом  $UF_6$ , при остановке или запуске установки 2 конверсии.

Устройство 8 для подачи включает в себя соответственный привод 14 подачи, размещенный на входе каждой трубки 10 впрыска реагентов или трубки 12 впрыска нейтрального газа, причём привод 14 подачи обеспечивает возможность контроля потока газа в трубке впрыска.

Предпочтительно, приводы 14 подачи предусматриваются в форме регуляторов расхода, подходящих для поддержания потока газа, проходящего через них при установленном значении.

Предпочтительно и во избежание какого-либо риска утечки  $UF_6$ , приводы 14 подачи устройства 8 для подачи являются устойчивыми к сейсмическим воздействиям.

Установка 2 конверсии включает в себя систему 16 электронного контроля для контролирования установки 2 конверсии и, в частности, устройства 8 для подачи, конкретно, приводов 14 подачи.

Как проиллюстрировано на фиг. 1, реактор 4 ограничивает реакционную камеру 18, в которую открываются трубки 10 впрыска реагентов, снабжая реактор 4 газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, и в которой имеет место превращение  $UF_6$  в  $UO_2F_2$  в результате гидролиза. Полученный таким образом  $UO_2F_2$  находится в форме порошка, падающего на днище реакционной камеры 18.

Реактор 4 имеет выпускную трубу 20, простирающуюся от реакционной камеры 18 и соединённую с печью 6 таким образом, чтобы перемещать порошок  $UO_2F_2$  из нижней части реакционной камеры 18 в печь 6.

Установка 2 конверсии включает в себя термокамеру 22, окружающую реактор 4, и нагреватель 24 для нагревания внутреннего объёма термокамеры 22 и, следовательно, реактора 4.

Печь 6 имеет впускной патрубок 26, соединённый с выпускной трубой 20 реактора 4 для приёма порошка  $UO_2F_2$ , и выпускной патрубок 28 для подачи порошка  $UO_2$ .

Установка 2 конверсии включает в себя перегрузочное устройство 30 для перемещения порошка  $UO_2F_2$  из реакционной камеры 18 в печь 6. Перегрузочное устройство 30 в данном случае включает в себе оснащённый приводом от двигателя шнек для выталкивания порошка  $UO_2F_2$  из реакционной камеры 18 во впускной патрубок 26 печи 6.

Печь 6 включает в себя барабан 32, имеющий центральную ось С, конец оси которого образует впускной патрубок 26, тогда как противоположный конец оси образует выпускной патрубок 28 печи 6.

Барабан 32 предусмотрен для циркуляции порошка  $UO_2F_2$  из впускного патрубка 26 в выпускной патрубок 28 совместно с циркуляцией сухого водяного пара и  $H_2$  в печи 6 против потока порошка  $UO_2F_2$ .

Барабан 32 установлен с возможностью вращения вокруг его центральной оси С, наклонённой относительно горизонтали таким образом, что впускной патрубок 26 находится выше выпускного патрубка 28, вращение барабана 32 обуславливает продвижение порошка от впускного патрубка 26 к выпускному патрубку 28.

Печь 6 включает в себе вращательное приводное устройство 33 с двигателем, исполненное с возможностью приведения барабана 32 во вращательное движение вокруг его центральной оси С. Вращательное приводное устройство 33 включает в себе, например, двигатель и передаточное приспособление, например, цепь или ремень, соединяющее двигатель с барабаном 32.

В качестве альтернативы печь 6 предпочтительно может быть снабжена кривошипной рукояткой, которая позволяет вращать барабан 32 вручную в случае отказа вращательного приводного устройства 33.

Барабан 32 предпочтительно снабжён выгородками 35, размещёнными внутри барабана 32, для регулирования потока реакционноспособных газов и времени пропускания порошка в печь 6.

Необязательно, барабан 32 снабжён подъёмными элементами 37,

простирающимися с внутренней поверхности барабана 32 и выполненными с возможностью подъёма и опускания порошка, присутствующего в барабане 32, вследствие вращения барабана 32 вокруг центральной оси С, для улучшения перемешивания порошка и стимулирования однородного контакта частиц порошка с реакционноспособными газами, циркулирующими в барабане 32. Подъёмные элементы 37 находятся, например, в форме подъёмных лопаток или подъёмных уголков, распределённых над внутренней поверхностью барабана 32.

В предпочтительном варианте воплощения барабан 32 печи 6 и перегрузочное устройство 30 реакционной камеры 18 исполнены с возможностью работать независимо друг от друга, в частности, позволять останавливать любой из них при сохранении функционирования другого.

В проиллюстрированном примере барабан 32 печи 6 и перегрузочное устройство 30 реакционной камеры 18 исполнены с возможностью независимого вращения шнека перегрузочного устройства 30, с одной стороны, и барабана 32, с другой стороны, и в частности, для остановки вращения либо шнека, либо барабана 32 при одновременном сохранении вращения другого.

Такая конфигурация создаёт возможность завершать извлечение порошка  $UO_2$  из печи 6 на этапах прекращения работы установки 2 конверсии, в то время как реактор 4, и в частности, перегрузочное устройство 30, уже остановлены.

В проиллюстрированном примере вторая трубка впрыска водяного пара и трубка впрыска  $H_2$  питают барабан 32 через выпускной патрубок 28 для циркуляции сухого водяного пара из печи пиролиза и  $H_2$  из выпускного патрубка 28 во впускной патрубок 26 печи 6.

В проиллюстрированном примере трубка 12 впрыска нейтрального газа соединена с трубкой 10 впрыска реагентов для впрыскивания  $H_2$  в печь 6 и/или с трубкой 10 впрыска реагентов для впрыскивания  $H_2O$  в печь 6 для того, чтобы впрыскивать нейтральный газ в печь 6 по трубке (трубкам) 10 впрыска реагентов при остановке или запуске установки 2 конверсии, причём после этого осуществляют циркуляцию впрыскиваемого нейтрального газа из выпускного патрубка 28 печи 6 во впускной патрубок 26 печи 6. Как альтернатива или как вариант, устройство 8 для подачи включает в себе трубку 12 впрыска нейтрального газа, которая открывается непосредственно в печь 6, для впрыскивания нейтрального газа в печь 6 без пропускания по трубке 10 впрыска реагентов.

Снабжение трубки 10 впрыска реагентов нейтральным газом в случае прекращения работы установки 2 конверсии обеспечивает возможность продувки указанной трубки 10 впрыска реагентов во время остановки при одновременном впрыскивании нейтрального

газа. Снабжение трубки 10 впрыска реагента нейтральным газом при запуске позволяет повышать температуру на установке 2 конверсии и подавать в установку 2 конверсии реагенты при достижении параметров реакции в реакторе 4, и соответственно, печи 6.

Печь 6 включает в себе нагреватель 34 для нагревания барабана 32. Нагреватель 34 включает в себе нагревательные элементы 36, окружающие барабан 32 и распределённые вдоль барабана 32. Печь 6 включает в себе термокамеру 38, окружающую барабан 32 и нагревательные элементы 36.

Установка 2 конверсии включает в себя устройство 40 для сбора, предназначенное для собирания порошка на выходе из печи 6. Устройство 40 для сбора включает в себе впускную трубку 42, соединённую с выпускным патрубком 28 печи 6 и открывающуюся в ёмкость 44 для сбора. Устройство 40 для сбора включает в себе термокамеру 46, окружающую ёмкость 44 для сбора. В ёмкость 44 для сбора открываются предпочтительно вторая трубка впрыска пара и трубка впрыска  $H_2$ .

Установка 2 конверсии включает в себя улавливающее устройство 50, предназначенное для улавливания и отвода газов, движущихся обратно в реактор 4, содержащих избыток реакционноспособных газов, фторид водорода (HF), образующийся в результате превращения, и нейтральный газ.

Улавливающее устройство 50 размещено в реакторе 4, предпочтительно в верхней зоне реакционной камеры 18.

Улавливающее устройство 50 включает в себе множество фильтров 52 для удерживания твёрдых частиц, которые могут захватываться газами, движущимися обратно в реактор 4, в частности, частиц  $UO_2F_2$  или даже  $UO_2$ .

Фильтры 52 изготовлены, например, из пористого материала, позволяющего пропускать избыток реакционноспособных газов, нейтральный газ и HF, образующийся по реакции превращения  $UF_6$  в  $UO_2F_2$ , затем в  $UO_2$ , при одновременном сохранении способности удерживать частицы  $UO_2F_2$  или  $UO_2$ . В предпочтительном варианте осуществления фильтры 52 изготовлены из керамики или суперсплава на основе никеля.

Порошки  $UO_2F_2$  и  $UO_2$  являются летучими и легко уносятся потоками газов. В дополнение к этому, они проявляют склонность прилипать к поверхностям, с которыми находятся в контакте.

В рабочем режиме на фильтрах 52, а также на стенках реактора 4 и печи 6 затем образуются агломераты порошка, более или менее разнородные по составу и более или менее уплотнённые. Указанные агломераты порошка, содержащие расщепляющийся материал, могут концентрироваться, в частности, в зонах удерживания, которые могут находиться в различных точках установки 2 конверсии, как например, на стыке между

реактором 4 и печью 6.

Агломераты порошка могут разламываться под действием своей собственной массы и смешиваться с порошком  $UO_2F_2$  и порошком  $UO_2$  в состоянии порошка. Наличие уплотнённых скоплений в порошке создаёт неоднородность при обработке порошка в печи 6 и может приводить к наличию остаточных частиц  $UO_2F_2$  в порошке  $UO_2$ , получаемом по окончании превращения, ухудшая таким образом его качество.

В дополнение к этому, накопление порошка на фильтрах 52 вызывает усиливающееся засорение фильтров 52 и обуславливает повышение внутреннего давления в реакторе 4. Изменения давления оказывают значительное влияние на поддержание постоянного качества порошка  $UO_2$ , получаемого по окончании превращения, и излишне высокое внутреннее давление в реакторе 4 может приводить к оповещению об опасности на установке 2 конверсии.

При засорении фильтров 52 порошками  $UO_2F_2$  и/или  $UO_2$  необходимо прекращать работу установки 2 конверсии и очищать или заменять фильтры 52, что является трудоёмким и дорогостоящим.

Засорение также может происходить на уровне устройства для впрыска реагентов в реактор 4, в данном случае, концентрической форсунки 11. Действительно, если давление впрыскивания и температура газа являются недостаточными,  $UF_6$  может кристаллизоваться на выходе из концентрической форсунки 11 и блокировать таким образом подачу реагентов в реактор 4. С учётом вышесказанного, важно поддерживать постоянное давление подачи, в частности, при замене источника  $UF_6$ .

Установка 2 конверсии предпочтительно включает в себя прочищающее устройство 53, предназначенное для прочистки фильтров 52, например, путём импульсного впрыскивания нейтрального газа через фильтры 52 против потока, т.е. в направлении внутренней части реакционной камеры 18 реактора 4. Нейтральным газом является, например, азот ( $N_2$ ).

На впрыскивание нейтрального газа против потока возлагается ответственность за нарушение выравнивания давления внутри реактора 4. Желательно выполнять прочистку контролируемым способом, в соответствии с заданными параметрами, для ограничения нарушений режима в работе реактора 4, и, в частности, отклонения давления внутри реактора 4.

Предпочтительно, прочищающее устройство 53 исполнено с возможностью осуществлять прочистку фильтров 52 в автоматическом режиме путём осуществления последовательной прочистки отдельных групп фильтров 52.

Далее, прочищающее устройство 53 выполнено с возможностью

последовательного впрыскивания нейтрального газа против потока в различные группы фильтров 52. Каждая группа фильтров 52 включает в себе один фильтр 52 или несколько фильтров 52.

В предпочтительном варианте осуществления фильтры 52 разделены на две группы, причём каждая из них включает в себе соответствующую половину фильтров 52, и прочистку осуществляют в двух группах поочередно путём впрыскивания нейтрального газа, проводимого периодически, например, каждые 30 секунд. Возможно также осуществлять цикл прочистки, например, третями или четвертями и/или настраивать частоту впрыскивания.

Давление впрыскивания нейтрального газа против потока в каждом фильтре 52 выбирается для ограничения нарушений режима в реакторе 4. Относительное давление, прилагаемое к каждому фильтру 52, предпочтительно от 2 до 5 бар, в частности, от 3 до 4,5 бар, создаёт возможность достижения удовлетворительной прочистки фильтра 52. Если в тексте не указано иного, выражение «относительное давление» относится к разности давлений по отношению к атмосферному давлению.

С целью обеспечения постоянного давления впрыскивания нейтрального газа прочищающее устройство 53 снабжается, например, из резервуара 55, заключающего в себе нейтральный газ и поддерживаемого при постоянном давлении.

Длительность впрыскивания нейтрального газа против потока в каждом фильтре 52 выбирается для ограничения нарушений режима в реакторе 4 при одновременном обеспечении возможности удовлетворительной очистки, в частности, всей поверхности фильтра 52 в течение периода впрыскивания. Длительность впрыскивания нейтрального газа против потока в каждом фильтре 52 составляет, например, меньше 1 с.

Предпочтительно, при впрыскивании нейтрального газа против потока в каждый фильтр 52 улавливающее устройство 50 предназначается для отсекаания всасывания через упомянутый фильтр 52 до впрыскивания нейтрального газа против потока с целью предотвращения утечки нейтрального газа, используемого для прочистки, непосредственно через улавливающее устройство 50.

Предпочтительно, прочищающее устройство 53 исполнено с возможностью осуществления прочистки в циклическом режиме, в частности, с периодом, выбранным во избежание накопления порошков на фильтрах 52, при одновременном ограничении воздействия указанного впрыскивания на работу установки 2 конверсии. Предпочтительно, период составляет от 30 секунд до 1 минуты.

Таким образом, в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления прочищающее устройство исполнено с возможностью повторения последовательности

прочисток в автоматическом и циклическом (или периодическом) режиме. Автоматическая, последовательная и периодическая прочистка фильтра 52 делает возможным обеспечение работы установки 2 конверсии, например, при относительном давлении от 10 мбар до 500 мбар в реакторе 4, предпочтительно, от 50 до 400 мбар, а более предпочтительно, от 100 до 350 мбар, что создаёт возможность для получения порошка  $UO_2$ , имеющего удовлетворительные характеристики, в частности, приемлемое содержание фтора, которое является по существу постоянным во времени.

Прочистка фильтров 52 вызывает осыпание скоплений порошка, образующихся на фильтрах 52, и предотвращает избыточный рост давления в реакционной камере 18.

Последовательная и периодическая прочистка обеспечивает возможность ограничения размера и уплотнённости агломератов твёрдых частиц, образующихся на фильтрах 52, а также исключения их отсоединения под действием собственной массы и падения под действием силы тяжести в слишком большом количестве на днище реакционной камеры 18 в перегрузочное устройство 30. Смесь уплотнённых агломератов с порошком  $UO_2F_2$  в пылевидном состоянии в действительности может обуславливать неоднородности физических и химических характеристик порошка  $UO_2$ , получаемого из них, и, в частности, содержания в нём фтора.

Прочистка, выполняемая в группах из нескольких фильтров 52, предотвращает прилипание порошка, удаляемого из фильтра 52, к другому фильтру 52, как могло бы быть в случае прочистки отдельных фильтров 52. Прочистка нескольких фильтров 52, осуществляемая группами, обеспечивает возможность образования порошкового тумана и ограничения образования комков.

В качестве необязательного дополнения к последовательной и периодической прочистке прочищающее устройство 53 может включать в себя функцию контроля, ручного или автоматического, для обеспечения возможности однократной прочистки фильтров 52, в частности, когда они достигают окончания срока службы, а последовательная и периодическая прочистка становится недостаточной. Указанная точечная прочистка может быть прочисткой одного из фильтров 52 или прочисткой группы фильтров 52 сокращённого размера.

Как проиллюстрировано на фиг. 1, предпочтительно, установка 2 конверсии дополнительно включает в себя, по меньшей мере, одно проточное устройство 56, выполненное с возможностью предотвращения накопления порошка на стенках реакционной камеры 18 и налипания на стенки реакционной камеры 18 скоплений порошка, снимаемых с фильтров 52 в ходе операции прочистки.

Проточное устройство 56 обеспечивает возможность стимулирования

непрерывного протекания потока порошка и стабильных условий для снабжения печи б порошком  $UO_2F_2$  как в отношении количества, так и качества, и в частности, при стабильном содержании фтора во времени.

Проточное устройство выполнено с возможностью вибрирования и/или нанесения ударов, по меньшей мере, по одной стенке реактора 4, предпочтительно, регулярно или непрерывно.

Проточное устройство 56 включает в себе, например, один или несколько ударных элементов, выполненных с возможностью нанесения ударов по стенке реактора 4 для формирования ударной волны в стенках реактора 4, и/или один или несколько вибрационных элементов, например, вибрационных чаш, при этом каждый вибрационный элемент размещается на стенке реактора 4 и выполнен с возможностью формирования вибрационного сигнала (или вибрации) и передачи указанной вибрации стенкам реактора 4. В предпочтительном варианте осуществления проточное устройство 56 включает в себе один или несколько элементов, которые генерируют удары для снятия порошка со стенки, а также вибрации, способствующие протеканию потока порошка.

В последующем описании ударные компоненты, вибрационные компоненты и компоненты, несущие две указанные функции, называются «проточными элементами».

Таким образом, в общем смысле, проточное устройство включает в себе, по меньшей мере, один проточный элемент, исполненный с возможностью генерирования вибрации и/или удара по стенке реактора 4.

Проточные элементы позволяют создавать регулярную или даже непрерывную вибрацию стенок реактора 4.

Проточное устройство 56 в рамках настоящего документа включает в себе четыре проточных элемента 58, например, электроударного типа, размещённых попарно в двух диаметрально противоположных позициях внешней поверхности стенки реактора 4.

Предпочтительно, если проточное устройство 56 включает в себе несколько проточных элементов 58 и если реактор 4 находится в рабочем режиме, контролируют, чтобы проточные элементы 58 действовали последовательно.

Количество, расположение и последовательность действия проточных элементов 58 могут быть исполнены как функция геометрии реактора 4, качества порошка и рабочих параметров прочищающего устройства 53.

Каждый проточный элемент 58 может быть прикреплен непосредственно к стенке реактора 4 или, например, через посредство промежуточной детали. В указанном случае промежуточная деталь может быть, например, съёмной для облегчения его обслуживания.

Сочетание прочищающего устройства 53 и проточного устройства 56 создаёт

возможность для ограничения размера и уплотнённости скоплений порошка, которые осаждаются на фильтрах 52 и стенках реактора 4, с целью контролирования осыпания скоплений на дно реактора 4 и, таким образом, обеспечивает однородность порошка  $UO_2$ , в частности, по содержанию фтора, которое является по существу постоянным во времени.

Установка 2 конверсии включает в себя герметизирующие устройства 54 для обеспечения герметизации между перегрузочным устройством 30 и реакционной камерой 18, между реактором 4 и печью 6, а также между печью 6 и устройством 40 для сбора. Герметизирующие устройства 54 размещены на стыке между перегрузочным устройством 30 и реакционной камерой 18, на стыке между выходной трубой 20 реактора 4 и впускным патрубком 26 печи 6 и на стыке между выпускным патрубком 28 печи 6 и входной трубой 42 устройства 40 для сбора. Герметизирующие устройства 54 обеспечивают герметизацию путём создания возможности вращения перегрузочного устройства 30 относительно реактора 4 и вращения барабана 32 печи 6 относительно реактора 4 и устройства 40 для сбора.

В герметизирующие устройства 54 нагнетается инертный газ, и предпочтительно, азот.

С этой целью, как проиллюстрировано на фиг. 1, установка 2 конверсии включает в себя, например, источники нагнетания повышенного давления 57, размещённые для снабжения герметизирующих устройств 54 инертным газом, создающим повышенное давление.

Давление нейтрального газа, питающего герметизирующие устройства 54, выше давления, которое имеется на установке 2 конверсии с целью предотвращения какого-либо разбрасывания порошка за пределы установки 2 конверсии. На практике нейтральный газ для создания повышенного давления в герметизирующих устройствах 54 может проходить в реактор 4 и/или в печь 6, а рабочие параметры реактора 4 и печи 6 определены с возможностью учёта указанного поступления нейтрального газа.

Установка 2 конверсии включает в себя, по меньшей мере, одно ударное устройство 60 для нанесения ударов по ударяемой поверхности 62 печи 6 с целью отделения порошка  $UO_2F_2$  или  $UO_2$  от внутренней поверхности барабана 32.

Установка 2 конверсии в рамках настоящего документа включает в себя ударное устройство 60, размещённое на каждом конце оси барабана 32 для нанесения ударов по ударяемой поверхности 62, образуемой внешней поверхностью конца оси барабана 32, выходящей в осевом направлении из термокамеры 38 печи 6. Как вариант, ударяемая поверхность 62 может ограничиваться любой другой поверхностью печи 6,

обеспечивающей возможность передачи вибраций окружной стенке барабана 32 при постукивании по указанной ударяемой поверхности 62 печи 6.

Установка 2 конверсии предпочтительно может включать в себя несколько ударных устройств 60, размещённых на одном и том же конце барабана 32, распределённых под углом вокруг барабана 32.

В предпочтительном варианте осуществления установка 2 конверсии включает в себя две группы ударных устройств 60, при этом каждая группа размещена на соответственном конце двух краёв барабана 32, а ударные устройства 60 каждой группы распределены под углом вокруг барабана 32.

Ударные устройства 60 являются аналогичными. На фиг. 2 проиллюстрировано более подробно только одно ударное устройство 60.

Как проиллюстрировано на фиг. 2, каждое ударное устройство 60 включает в себе ударный элемент 64, подвижный относительно ударяемой поверхности 62 в направлении Р удара, и промежуточную деталь 66, расположенную между ударным элементом 64 и ударяемой поверхностью 62 так, что ударный элемент 64 бьёт по ударяемой поверхности 62 через посредство промежуточной детали 66, подвижной в направлении Р удара между позицией, разнесённой от ударяемой поверхности 62, и позицией контакта с ударяемой поверхностью 62 печи 6.

В рамках настоящего документа направление Р удара перпендикулярно плоскости, расположенной по касательной к ударяемой поверхности 62, в точке контакта промежуточной детали 66 с ударяемой поверхностью 62. В рамках настоящего документа направление Р удара является по существу радиальным по отношению к центральной оси С барабана 32.

Ударный элемент 64 приводится в движение ударным приводом 68, подходящим для перемещения ударного элемента 64 в форме возвратно-поступательного движения в направлении Р удара. В рамках настоящего документа ударный привод 68 представляет собой гидравлический или пневматический цилиндр двойного действия.

Ударное устройство 60 имеет опору 70, несущую ударный привод 68 и промежуточную деталь 66, так что промежуточная деталь 66 расположена между ударным элементом 64 и ударяемой поверхностью 62. Промежуточная деталь 66 скомпонована на опоре 70 с возможностью скольжения в направлении Р удара.

Промежуточная деталь 66 имеет заднюю поверхность 66А, исполненную с возможностью нанесения по ней удара ударным элементом 64, и переднюю поверхность 66В, исполненную с возможностью вступления в контакт с ударяемой поверхностью 62. В положении контакта передняя поверхность 66В находится в контакте с ударяемой

поверхностью 62, тогда как в разнесённом положении передняя поверхность 66В разнесена от ударяемой поверхности 62.

Ударное устройство 60 включает в себе упругий возвратный элемент 72, размещённый для возвращения промежуточной детали 66 в разнесённое положение. Промежуточная деталь 66 размещена в корпусе 74 опоры 70, при этом упругий элемент 72 располагается между внутренним буртиком 74А корпуса 74 и внешним буртиком 66С промежуточной детали 66.

В рамках настоящего документа упругий элемент 72 представляет собой винтовую пружину, окружающую промежуточную деталь 66 и сжимаемую в случае, когда промежуточная деталь 66 перемещается из разнесённого положения в положение контакта.

Ударное устройство 60 включает в себе датчик 76 положения, обеспечивающий возможность получения информации о положении ударного элемента 64. Датчик 76 положения представляет собой, например, индуктивный датчик, расположенный вблизи промежуточной детали 66, и обеспечивающий возможность определения того, находится ли ударный элемент 64 в положении контакта с промежуточной деталью 66 или нет. Ударный привод 68 регулируется как функция сигнала положения, подаваемого датчиком 76 положения.

В рабочем режиме ударный привод 68 перемещает ударный элемент 64 в форме возвратно-поступательного движения для отодвигания ударного элемента 64 от промежуточной детали 66, а затем перемещает ударный элемент 64 в сторону промежуточной детали 66 для нанесения удара по ударяемой поверхности 62 промежуточной деталью 66. Ударный элемент 64 перемещает промежуточную деталь 66 из разнесённого положения в положение контакта к упругому элементу 72.

Повторяющиеся удары ударного элемента 64 могли бы повреждать сам ударный элемент 64 и внешнюю поверхность барабана 32. Привнесение промежуточной детали 66, отделённой от ударного элемента 64 и не соединённой с печью 6 неразрывно, позволяет использовать промежуточную деталь 66 как одноразовую или изнашивающуюся деталь. В проиллюстрированном примере промежуточная деталь 66 сконструирована с возможностью перемещения относительно печи 6.

Получение порошка  $UO_2$ , демонстрирующего удовлетворительные характеристики, в частности, содержание примесей, особенно фтора, менее 50 ч/млн, однородное распределение частиц по размерам, расположенное, например, в диапазоне от 20 до 100 мкм, и удельную площадь поверхности меньше  $4 \text{ м}^2/\text{г}$ , зависит от рабочих условий гидролиза и пирогиридолиза, в частности, от скоростей подачи реагентов и температуры.

Устройство 8 для подачи выполнено с возможностью подачи реагентов и нейтрального газа, в частности, нейтрального продувочного газа, при определённых скоростях потока.

Нагреватель 24 реактора 4 выполнен с возможностью поддержания камеры реактора 4 в адекватном температурном диапазоне для получения порошков  $UO_2F_2$ , а затем  $UO_2$  с желаемыми характеристиками.

Предпочтительно, на этапе стабильного получения почасовая массовая скорость снабжения реактора 4 газообразным  $UF_6$  составляет от 75 до 130 кг/ч, почасовая массовая скорость снабжения реактора 4 сухим водяным паром находится в диапазоне от 15 до 30 кг/ч, а температура в реакторе 4 составляет от 150 до 250°C.

Указанные диапазоны значений позволяют получать порошок  $UO_2F_2$ , обеспечивая в конечном итоге возможность получения порошка  $UO_2$  с желаемыми характеристиками. В частности, указанные диапазоны значений обеспечивают возможность получения порошка  $UO_2$ , характеризующегося удельной площадью поверхности частиц от 1 м<sup>2</sup>/г до 4 м<sup>2</sup>/г, а предпочтительно, от 1,9 м<sup>2</sup>/г до 2,9 м<sup>2</sup>/г. В дополнение к этому, указанные диапазоны значений обеспечивают возможность получения порошка  $UO_2$  с остаточным содержанием фтора (F) меньше 50 ч/млн, предпочтительно, меньше 35 ч/млн, а более предпочтительно, меньше 20 ч/млн.

В предпочтительном варианте осуществления почасовая массовая скорость подачи газообразного  $UF_6$  в реактор 4 составляет от 90 до 120 кг/ч, а почасовая массовая скорость подачи сухого водяного пара в реактор 4 для гидролиза составляет от 20 до 25 кг/ч.

Для предотвращения кристаллизации реагента  $UF_6$  при его впрыскивании в реактор 4 реактор 4 снабжается фторидом  $UF_6$  при температуре подачи от 75°C до 130°C, предпочтительно, от 90°C до 120°C.

В конкретном варианте осуществления установка 2 конверсии включает в себе испускающее устройство, обеспечивающее возможность непрерывного испускания реагента  $UF_6$  в реактор 4 при регулируемой скорости потока и температуре  $UF_6$ .

$UF_6$  транспортируется в ёмкостях, которые являются, например, цилиндрическими. При комнатной температуре  $UF_6$  находится в твёрдом состоянии. Переход из твёрдого состояния в газообразное осуществляется при нагревании ёмкостей, например, в греющей камере, в частности, в печи (не водостойкой) или в автоклаве (водостойком).

Как проиллюстрировано на фиг. 3, установка 2 конверсии имеет испускающее устройство 82 для питания реактора 4 газообразным  $UF_6$  из ёмкостей 84, содержащих  $UF_6$ . Каждый резервуар 84 закрывается уплотняющимся клапаном 85.

Испускающее устройство 82 включает в себе, по меньшей мере, две греющие

камеры 86, причём каждая греющая камера 86 выполнена с возможностью размещения в ней резервуара 84 с реагентом  $UF_6$  в твёрдом состоянии и нагревания его для образования  $UF_6$  в газообразном состоянии, при этом испускающее устройство 82 выполнено с возможностью последовательного питания реактора 4 из греющих камер 86 путём перехода от текущей греющей камеры 86 к последующей греющей камере 86, когда резервуар 84, который размещён в упомянутой текущей греющей камере 86, является уже недостаточно заполненным, предпочтительно без прерывания потока газообразного  $UF_6$ , подающегося в реактор 4. Предпочтительно, каждая греющая камера 86 способна нагревать и поддерживать соответственный резервуар 84 при температуре выше температуры тройной точки  $UF_6$ , например, при температуре выше  $75^\circ C$ , а предпочтительно при номинальной температуре  $95^\circ C$ , например,  $95^\circ C \pm 10^\circ C$ .

Таким образом, испускающее устройство 82 включает в себе контур 87 подачи, предназначенный для избирательного испускания  $UF_6$  в реактор 4 из одной из греющих камер 86, в то время как другая греющая камера 86 нагревает резервуар 84 в ожидании испускания  $UF_6$  из упомянутого резервуара 84 или снова заправляется резервуаром 84, заполненным  $UF_6$ .

Каждая греющая камера 86, например, соединена с реактором 4 посредством клапана 88 для регулирования соответственной скорости потока, закрытие которого обеспечивает возможность изолирования греющей камеры 86 от реактора 4, тогда как его открытие обеспечивает возможность соединения греющей камеры 86 с реактором 4 по текучей среде. Открытие клапана 85 резервуара 84, а затем клапана 88 позволяет протекать потоку  $UF_6$  из греющей камеры 86 в реактор 4 благодаря разности давлений в резервуаре 84 и реакторе 4. После этого греющая камера 86 находится в пассивном режиме испускания.

В качестве альтернативы, каждый резервуар 84 соединён с реактором 4 посредством соответственного насоса 90, соединённого с каждой греющей камерой 86 и расположенного параллельно клапану 88, соединённому с упомянутой греющей камерой 86. Насос 90 предпочтительно является насосом объёмного действия, а более предпочтительно, насосом объёмного действия с сальфонами.

Приведение в действие насоса 90 обеспечивает возможность осуществления принудительной циркуляции газообразного  $UF_6$  из греющей камеры 86 в реактор 4, когда давление в резервуаре 84, помещённом в греющую камеру 86, является недостаточным для создания указанной циркуляции. Затем греющая камера 86 находится в активном режиме испускания. Когда клапан 88 открыт, поток следует в обход насоса 90.

Испускающее устройство 82 включает в себя, например, устройство для

открывания клапана соответственного резервуара 84 с внешней стороны каждой греющей камеры 86 и блок 92 электронного контроля, выполненный с возможностью контролирования клапана 88 и, если необходимо, насоса 90, соединённого с каждой греющей камерой 86, а также обеспечения последовательного подвода энергии из греющих камер 86, и, если это целесообразно, перехода от пассивного режима к активному для каждой греющей камеры 86.

Испускающее устройство 82, например, исполнено с возможностью контроля перехода от одной греющей камеры 86 к следующей и, если это целесообразно, перехода от пассивного режима к активному способу, определяемым в зависимости от давления в каждом резервуаре 84.

Для этого выпускающее устройство 82 включает в себе, например, датчик 94 давления, соединённый с каждым резервуаром 84, блок 92 электронного контроля, предназначенный для контролирования клапана 88 и, при необходимости, насоса 90, соединённых с каждой греющей камерой 86, в соответствии с результатами измерений, предоставляемых датчиками 94 давления.

В начале цикла получения резервуар 84 нагревают в первой греющей камере 86, предпочтительно в атмосфере нейтрального газа, для улучшения теплообменных процессов между атмосферой греющей камеры 86 и резервуаром 84. Нейтральным газом является, например, азот. По достижении требуемой температуры, т.е. когда твёрдый  $UF_6$  превратился в жидкость, а в резервуаре 84 находится  $UF_6$  в фазе равновесия газ/жидкость, после открытия уплотняющегося клапана 85 резервуара 84 открывается клапан 88, расположенный между выпускным отверстием указанной первой греющей камеры 86 и трубкой 10 впрыска  $UF_6$  в реактор 4, и начинается испускание  $UF_6$  из указанной первой греющей камеры 86 в пассивном режиме. Параллельно начинается нагревание другого резервуара 84 во второй греющей камере 86.

По мере развития испускания  $UF_6$  давление в резервуаре 84 первой греющей камеры 86 падает до величины, близкой к той, которая может вызывать снижение скорости потока  $UF_6$  и обращение потоков между реактором 4 и резервуаром 84, помещённым в указанной первой греющей камере 86. После этого в резервуаре 84 всё ещё остаётся несколько килограммов  $UF_6$ . До достижения указанной ступени первую греющую камеру 86 переключают из пассивного режима испускания в активный режим испускания с закрытием клапана 88 и запуском соответствующего насоса 90. Таким образом, испускание  $UF_6$  может продолжаться до момента испускания почти всего  $UF_6$ , содержащегося в резервуаре 84 первой греющей камеры 86, например, при давлении в резервуаре 84 в конце испускания, равном 100 мбар абсолютных. В указанный момент

резервуар 84, размещённый во второй греющей камере 86, достиг температуры, требуемой для испускания  $UF_6$ , и открывается уплотняющийся клапан 85 резервуара 84. Клапан 88, соединённый с первой греющей камерой 86, закрывается, а клапан 88, соединённый со второй греющей камерой 86, открывается и продолжается испускание  $UF_6$  из резервуара 84 второй греющей камеры 86 без прерывания и без значительного изменения скорости потока, температуры и давления  $UF_6$  при переключении с первой греющей камеры 86 на вторую греющую камеру 86. Параллельно клапан 85 резервуара 84, размещённого в первой греющей камере 86, закрывают, а после охлаждения первую греющую камеру 86 подсоединяют к выходу на атмосферу, открывают, стравливают содержимое резервуара 84 и заменяют новым резервуаром 84, заполненным реагентом  $UF_6$ .

Как вариант и с целью дополнительного уменьшения изменений в снабжении реактора 4 реагентом  $UF_6$ , клапан 88, соединённый со второй греющей камерой 86, можно открывать до того, как закрывается клапан 88, соединённый с первой греющей камерой 86, и испускание реагента  $UF_6$  продолжается из двух резервуаров 84, при этом первая греющая камера 86 работает в активном режиме испускания, а вторая греющая камера 86 работает в пассивном режиме испускания. Открытие клапана 88, соединённого со второй греющей камерой 86, может иметь место, например, когда клапан 88 закрыт и запускается насос 90 первой греющей камеры 86, или в любой другой момент времени до прекращения испускания  $UF_6$  из резервуара 84 первой греющей камеры 86.

Предпочтительно и с целью обеспечения возможности отсечения подачи  $UF_6$  как можно ближе к источнику испускания во всех обстоятельствах, клапаны 88 являются устойчивыми к сейсмическим воздействиям.

Испускающее устройство 82 позволяет установке 2 конверсии непрерывно работать с использованием почти всего  $UF_6$ , содержащегося в резервуарах 84, в условиях испускания  $UF_6$  при требуемых давлении и температуре, а также с требуемой скоростью потока.

Предпочтительно, в реактор 4 подаётся сухой водяной пар гидролиза при температуре подачи от  $175^{\circ}C$  до  $300^{\circ}C$ , в частности, от  $200^{\circ}C$  до  $270^{\circ}C$ .

Предпочтительно, в печь 6 подаётся сухой водяной пар, образующийся из воды пирогидролза, с почасовой массовой скоростью подачи от 25 до 40 кг/ч, в частности, от 30 до 35 кг/ч.

Предпочтительно также, что печь 6 питается сухим водяным паром, образующимся из воды пирогидролза, при температуре подачи от  $250^{\circ}C$  до  $450^{\circ}C$ , предпочтительно от  $300^{\circ}C$  до  $400^{\circ}C$ .

Предпочтительно, объёмная скорость потока для питания печи 6 реагентом  $H_2$

составляет от 10 до 25 н.м<sup>3</sup>/ч, в частности, от 15 до 20 н.м<sup>3</sup>/ч («н.м<sup>3</sup>/ч» обозначает нормальные кубические метры в час и является единицей измерения количества газа, которая соответствует содержанию объёма в один кубический метр в случае газа, находящегося в нормальных условиях температуры и давления (20°C и 1 атм)). Н<sub>2</sub> обычно впрыскивают при комнатной температуре.

Параметры впрыскивания нейтрального продувочного газа, подаваемого в реактор 4, оказывают влияние на реакции, протекающие в реакторе 4.

Предпочтительно, скорость подачи нейтрального продувочного газа в реактор 4 составляет от 1,5 до 5 н.м<sup>3</sup>/ч, температура впрыскивания нейтрального продувочного газа составляет от 80°C до 130°C, а относительное давление подачи упомянутого нейтрального продувочного газа выше относительного давления внутри реактора 4 и предпочтительно составляет менее 1 бар.

В конкретном варианте осуществления скорость подачи нейтрального продувочного газа составляет от 2 до 3 н.м<sup>3</sup>/ч, а температура впрыскивания нейтрального продувочного газа составляет от 90 до 105°C.

Кроме того, нагревательные элементы 36 печи 6 регулируют таким образом, чтобы в печи 6 устанавливалось постепенное повышение, а затем понижение температуры от впускного патрубка 26 печи 6 к выпускному патрубку 28 печи 6.

Печь 6 включает в себе, например, несколько последовательных секций, ограниченных вдоль печи 6, в данном случае шесть последовательных секций S1-S6 от впускного патрубка 26 до выпускного патрубка 28 печи 6, при этом каждая секция S1-S6 нагревается нагревательными элементами 36, предназначенными специально для указанной секции от S1 до S6.

Печь 6 включает в себе соответствующий датчик 80 температуры, соединённый с каждой секцией S1-S6. Принимается во внимание, что температура каждой секции печи 6 является величиной, измеряемой датчиком 80 температуры, соединённым с указанной секцией. Каждый датчик 80 температуры представляет собой, например, термопару, размещённую вблизи нагревательных элементов 36, соединённых с данной секцией.

Нагревательные элементы 36, предназначенные специально для каждой секции S1-S6, контролируются независимо от нагревательных элементов, предназначенных для других секций, так что температура, измеряемая датчиком 80 температуры, размещённым в указанной секции, соответствует определённому заданному значению.

В предпочтительном варианте осуществления каждая секция S1-S6 оснащена несколькими датчиками 80 температуры, и температура каждой секции S1-S6 печи 6 рассматривается как среднее значение температур, измеренных датчиками 80

температуры в связи с данной секцией S1 - S6.

В предпочтительном варианте осуществления нагревательные элементы 36 печи 6 регулируют таким образом, чтобы устанавливался следующий профиль температуры:

- первая секция S1: от 660 до 700°C
- вторая секция S2: от 700 до 730°C
- третья секция S3: от 720 до 745°C
- четвёртая секция S4: от 730 до 745°C
- пятая секция S5: от 660 до 700°C
- шестая секция S6: от 635 до 660°C.

Указанный профиль температуры обеспечивает возможность контролировать развитие пирогидролитического порошка  $UO_2F_2$ , который является сложной реакцией, состоящей из нескольких элементарных реакций, которые зависят, в частности, от температуры.

На фазе получения прочищающее устройство 53 осуществляет периодическую прочистку, автоматически и регулярно. В дополнение к этому, предпочтительно, чтобы проточное устройство 56 вибрировало и/или наносило удары по реактору 4, автоматически, регулярно или непрерывно, и/или чтобы ударное устройство 60 наносило удары по печи 6, автоматически и регулярно, для осыпания порошка, прилипшего к внутренним стенкам, до того, как он образует крупные и/или плотные комки.

Тем не менее, фильтры 52 могут избыточно засоряться в ходе работы установки 2 конверсии и по мере их старения.

Повышение относительного давления внутри реактора 4, как правило, является свидетельством того, что прочистка фильтров 52 становится недостаточной.

Наблюдение за давлением внутри реактора 4 обеспечивает возможность отслеживания эффективности очистки.

Предпочтительно, на фазе стабильного получения желательно, чтобы относительное давление внутри реактора 4 оставалось в диапазоне от 10 мбар до 500 мбар, предпочтительно, от 50 до 400 мбар, а более предпочтительно, от 100 до 350 мбар.

Установка 2 конверсии включает в себя датчик P1 давления для измерения давления внутри реактора 4.

Если относительное давление внутри реактора 4 превышает заданный порог безопасности, предпочтительно, чтобы система 16 контроля была выполнена с возможностью отдавать команду для прекращения работы установки 2 конверсии.

Порог безопасности составляет, например, от 100 до 500 мбар, предпочтительно от 200 до 450 мбар, и даже предпочтительнее, от 200 до 400 мбар, в частности, около 350 мбар.

Предпочтительно, если относительное давление внутри реактора 4 превышает заданное пороговое значение прочистки, контролируют, чтобы прочищающее устройство 53 выполняло прочистку фильтров 52. Указанную точечную прочистку можно выполнять с применением давления прочищающего впрыска, находящегося в верхней части диапазона давлений впрыска нейтрального газа для последовательной прочистки, или даже при давлении впрыска выше значений указанного диапазона. Кроме того, точечную прочистку можно осуществлять специально в отношении одного или нескольких фильтров 52, например, отдельно на одном или нескольких конкретных фильтрах 52, которые можно блокировать по отдельности или вместе в рамках ограниченного числа фильтров 52.

Порог точечной прочистки устанавливается, например, в диапазоне от значения на 100 мбар ниже безопасного давления установки и составляет, например, на 50 мбар, а предпочтительно на 30 мбар ниже порога безопасности установки.

В действительности, в случае значительного засорения фильтров 52 давление в реакторе 4 быстро повышается, и становится трудно, если вообще возможно, прочищать фильтры 52 без прекращения работы установки для выполнения очистки вручную или замены фильтров, либо без образования неоднородностей порошка  $UO_2$  на выходе вследствие добавления к порошку  $UO_2F_2$  неконтролируемых количеств агломератов, осыпающихся с фильтров 52 в перегрузочное устройство 30 в ходе операции прочистки.

Впрыскивание нейтрального газа внутрь каждого фильтра 52 в ходе прочистки обеспечивает возможность удаления частиц порошка  $UO_2F_2$ , удерживаемых на внешней поверхности фильтра 52, при одновременном ограничении нарушений режима в реакторе 4, работающем при относительном давлении от 10 мбар до 500 мбар.

Формирование вибрации и/или ударов по одной или нескольким стенкам реактора 4, в данном случае при помощи проточного устройства 56, оснащающего реактор 4, также обеспечивает возможность отделения частиц порошка  $UO_2F_2$ , которые могут осаждаться на внутренней стенке реактора 4.

Нанесение ударов по ударяемой поверхности 62 печи 6, в данном случае при помощи ударного устройства 60, делает возможным предотвращение образования скоплений порошка в печи 6, что также могло бы оказывать влияние на качество порошка  $UO_2$ , получаемого на установке 2 конверсии.

Регулирование скоростей потоков реакционноспособных газов и нейтрального продувочного газа, а также температуры в реакторе 4 и в печи 6 тоже позволяет осуществлять реакции гидролиза и пирогидролиза в условиях получения удовлетворительного порошка  $UO_2$ .

В общем случае, в рабочем режиме все газы, впрыскиваемые в реактор 4 или в печь 6, впрыскивают при давлении выше имеющегося в реакторе 4 или печи 6, например, при давлении, по меньшей мере, на 20 мбар выше давления внутри реактора 4 или печи 6, а предпочтительно, по меньшей мере, на 50 мбар выше.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ конверсии гексафторида урана ( $UF_6$ ) в диоксид урана ( $UO_2$ ), включающий в себя следующие стадии:

- гидролиз  $UF_6$  до оксифторида урана ( $UO_2F_2$ ) в реакторе (4) гидролиза по реакции между газообразным  $UF_6$  и сухим водяным паром, впрыскиваемым в реактор (4); и

- пирогидролиз  $UO_2F_2$  до  $UO_2$  в печи (6) пирогидролиза по реакции  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыскиваемым в печь (6),

при этом почасовая массовая скорость потока газообразного  $UF_6$ , подаваемого в реактор (4), составляет от 75 до 130 кг/ч, почасовая массовая скорость потока сухого водяного пара, подаваемого в реактор (4) для гидролиза, составляет от 15 до 30 кг/ч, а температура внутри реактора (4) составляет от 150 до 250°C.

2. Способ конверсии по п. 1, включающий в себя впрыскивание нейтрального продувочного газа в реактор (4).

3. Способ конверсии по п. 1 или 2, в котором  $UO_2$  получают в форме порошка  $UO_2$ , характеризующегося удельной площадью поверхности частиц от 1 м<sup>2</sup>/г до 4 м<sup>2</sup>/г, а предпочтительно от 1,9 м<sup>2</sup>/г до 2,9 м<sup>2</sup>/г.

4. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором  $UO_2$  имеет остаточное содержание фтора (F) меньше 50 ч/млн, предпочтительно, меньше 35 ч/млн.

5. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором  $UF_6$ , подаваемый в реактор (4), находится при температуре от 75°C до 130°C, предпочтительно, от 90°C до 120°C.

6. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором сухой водяной пар, подаваемый в реактор (4) для гидролиза, находится при температуре от 175 до 300°C, предпочтительно, от 200 до 270°C.

7. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором почасовая массовая скорость потока сухого водяного пара, подаваемого в печь (6) для пирогидролиза, составляет от 25 до 40 кг/ч, предпочтительно, от 30 до 35 кг/ч.

8. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором температура сухого водяного пара, подаваемого в печь (6) для пирогидролиза, составляет от 250 до 450°C, предпочтительно, от 300 до 400°C.

9. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором объёмная скорость потока  $H_2$ , подаваемого в печь (6), составляет от 10 до 25 н.м<sup>3</sup>/ч, в частности, от 15 до 20 н.м<sup>3</sup>/ч.

10. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., в котором скорость потока нейтрального продувочного газа, подаваемого в реактор (4), составляет от 1,5 до 5

н.м<sup>3</sup>/ч, температура нейтрального продувочного газа, подаваемого в реактор (4), составляет от 80°C до 130°C, а относительное давление подачи нейтрального продувочного газа выше относительного давления внутри реактора (4) и предпочтительно составляет ниже 1 бар.

11. Способ конверсии по любому из предшествующих пп., включающий в себя подачу газообразного UF<sub>6</sub> в реактор (4) из испускающего устройства (82), заключающего в себе, по меньшей мере, одну греющую камеру (86), при этом указанная или каждая греющая камера (86) включает внутри себя резервуар (84) для UF<sub>6</sub> в твёрдом состоянии и нагревает его для получения UF<sub>6</sub> в газообразном состоянии, и контур подачи (87), выполненный с возможностью питания реактора (4) из указанной или каждой греющей камеры (86).

12. Способ конверсии по п. 11, в котором испускающее устройство (82) включает в себя, по меньшей мере, две греющие камеры (86), при этом контур (87) подачи выполнен с возможностью последовательного снабжения реактора (4) из греющих камер (86) при переходе от текущей греющей камеры (86) к последующей греющей камере (86), когда резервуар (84), размещённый в упомянутой текущей греющей камере (86), уже недостаточно заполнен.

13. Способ конверсии по п. 12, в котором подача в реактор (4) из последующей греющей камеры (86) начинается до прекращения подачи в реактор (4) из текущей греющей камеры (86), так что в течение определённого периода времени подача в реактор (4) продолжается одновременно с использованием обеих греющих камер (86).

14. Способ конверсии по любому из пп. 11-13, в котором контур подачи (87) включает в себе насос (90), соединённый с указанной или каждой греющей камерой (86) для осуществления принудительной циркуляции реагента UF<sub>6</sub> из резервуара (84), размещённого в греющей камере (86), в направлении реактора (4), при этом указанный или каждый насос (90) предпочтительно является насосом объёмного действия, а более предпочтительно, насосом объёмного действия с сальфонами.

15. Способ конверсии по п. 14, в котором контур подачи (87) включает в себе клапан (88), регулирующий скорость потока, соединённый с указанной или каждой греющей камерой (86) и установленный в обход насоса (90), соединённого с греющей камерой (86).

16. Установка конверсии гексафторида урана (UF<sub>6</sub>) в диоксид урана (UO<sub>2</sub>), включающая в себя:

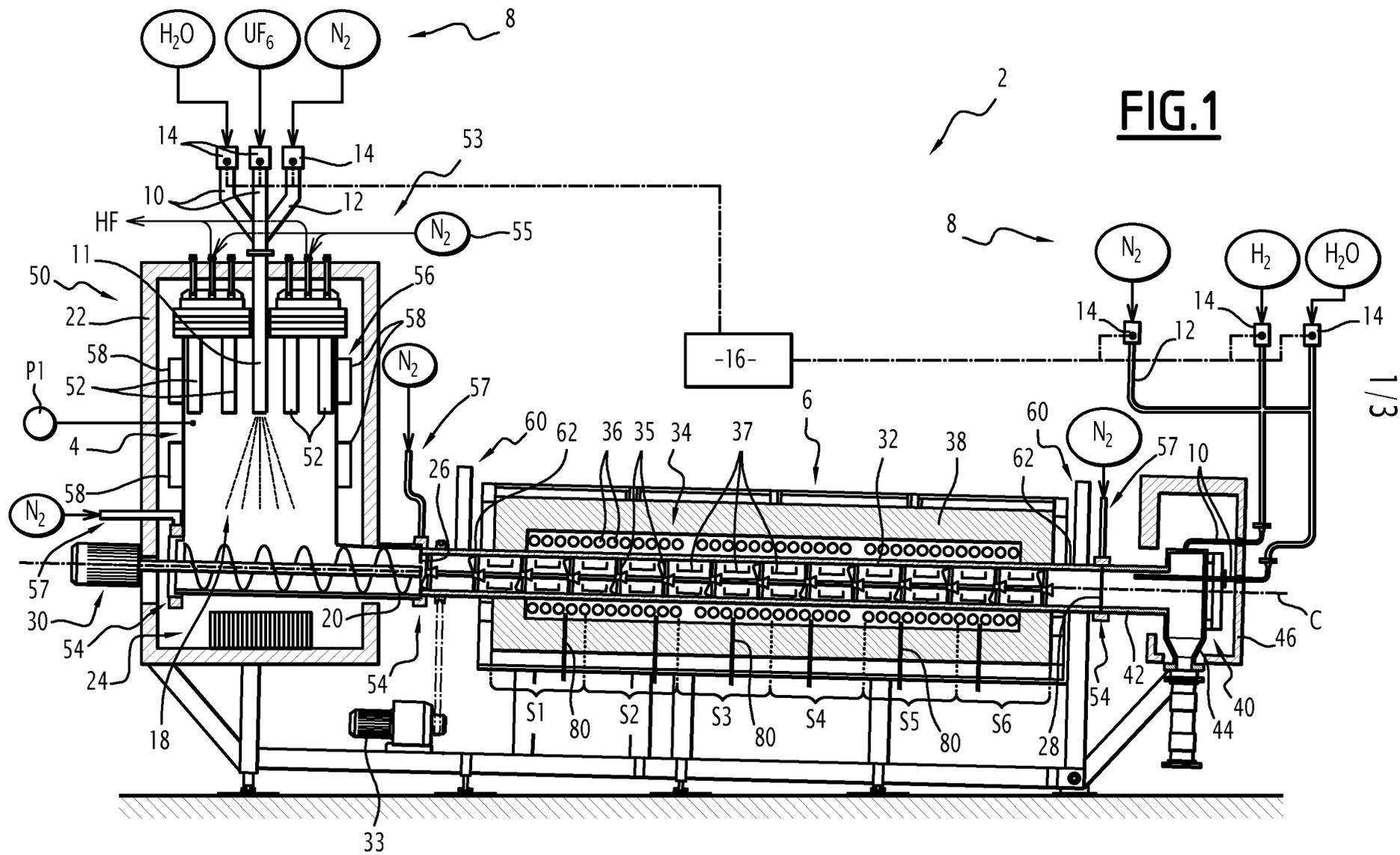
- реактор (4) для гидролиза UF<sub>6</sub> до порошка оксифторида урана (UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) по реакции между газообразным UF<sub>6</sub> и сухим водяным паром, впрыскиваемым в реактор (4);

- печь (6) для пирогидролита порошка  $UO_2F_2$  до порошка  $UO_2$  по реакции порошка  $UO_2F_2$  с сухим водяным паром и газообразным водородом ( $H_2$ ), впрыскиваемым в печь (6);  
и

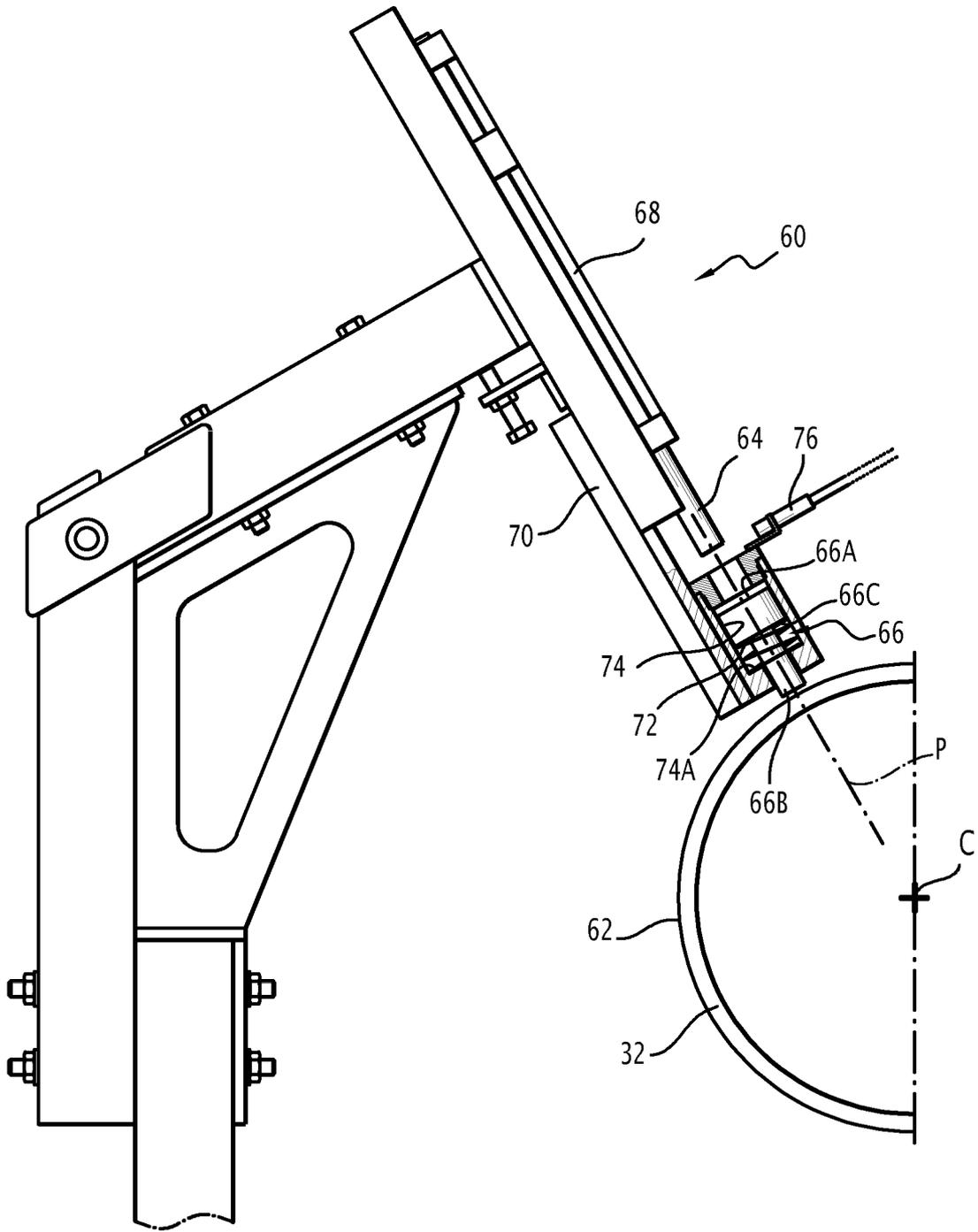
- устройство (8), питающее реактор (4) и печь (6) реакционноспособными газами и нейтральным продувочным газом,

при этом установка конверсии выполнена с возможностью осуществления способа по любому из предшествующих пп.

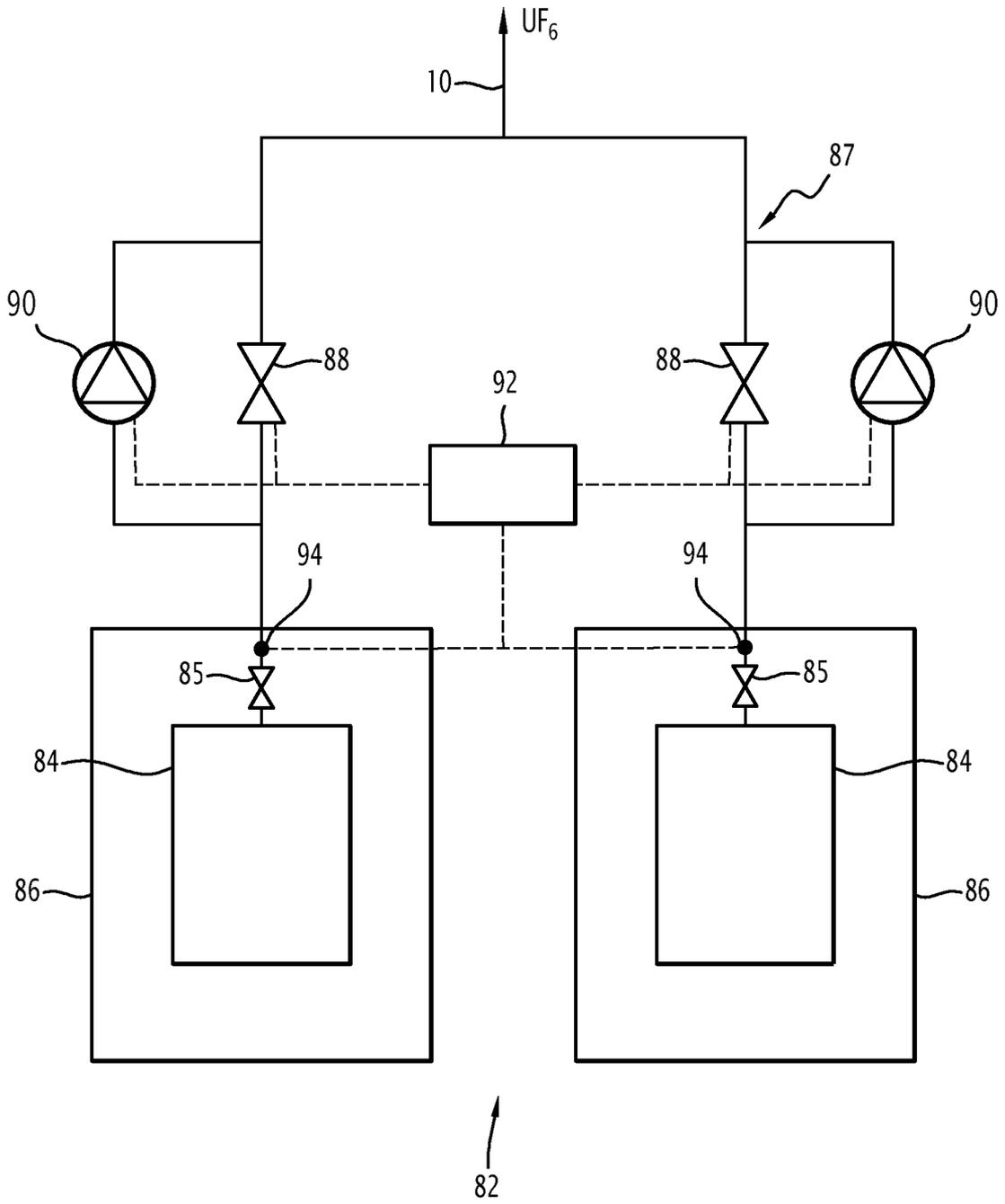
17. Установка конверсии по п. 16, включающая в себя испускающее устройство (82) для питания реактора (4) фторидом  $UF_6$ , заключающее в себе, по меньшей мере, одну греющую камеру (86), при этом указанная или каждая греющая камера (86) выполнена с возможностью размещения резервуара (84) для реагента  $UF_6$  в твёрдом состоянии и его нагревания для получения  $UF_6$  в газообразном состоянии, а контур подачи (87) выполнен с возможностью снабжения реактора (4) из указанной или каждой греющей камеры (86).



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**