

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202291173** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
2022.07.11

(51) Int. Cl. *B01J 4/00* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2020.11.13

---

(54) **РЕАКТОР ДЛЯ ГИДРОЛИЗА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА**

---

(31) 19 12785

(72) Изобретатель:

(32) 2019.11.15

**Месона Брюно, Пайю Патрик (FR)**

(33) FR

(74) Представитель:

(86) PCT/EP2020/082122

**Фелицына С.Б. (RU)**

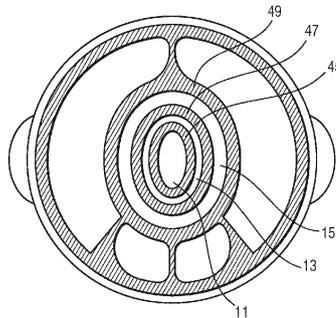
(87) WO 2021/094575 2021.05.20

(71) Заявитель:

**ФРАМАТОМ (FR)**

---

(57) Изобретение относится к реактору (1) для гидролиза гексафторида урана, содержащему трубчатую форсунку (9), содержащую первый (11), второй (13) и третий (15) концентричные каналы для циркуляции текучих сред, выполненные с возможностью соединения соответственно с источником  $UF_6$ , с источником инертного газа и с источником водяного пара. Трубчатая форсунка (9) получена посредством аддитивного изготовления.



**A1**

**202291173**

**202291173**

**A1**

## РЕАКТОР ДЛЯ ГИДРОЛИЗА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

Данное изобретение в целом относится к реакторам для гидролиза гексафторида урана.

В документе WO 99/28236 раскрыт пример известного реактора для гидролиза гексафторида урана, содержащий:

- гидролизную камеру, содержащую стенку, ограничивающую внутренний объем;
- трубчатую форсунку, содержащую первый, второй и третий концентричные каналы для циркуляции текучих сред и проходящую через стенку гидролизной камеры.

Трубчатая форсунка имеет внутренний конец, находящийся во внутреннем объеме, и наружный конец, находящийся за пределами внутреннего объема. Первый, второй и третий каналы соединены соответственно с источником гексафторида урана ( $UF_6$ ), с источником инертного газа и с источником водяного пара.

Трубчатая форсунка является деталью, ответственной за работу гидролизного реактора.

Эти трубчатые форсунки нуждаются в периодической замене. Было замечено, что современные трубчатые форсунки могут иметь дефекты качества, не обеспечивая надлежащей работы гидролизного реактора.

Кроме того, было отмечено, что в установке, содержащей несколько гидролизных реакторов, трубчатую форсунку, установленную в одном гидролизном реакторе, трудно использовать в другом гидролизном реакторе.

В этом контексте изобретение призвано предложить гидролизный реактор, трубчатая форсунка которого не имеет вышеупомянутого недостатка.

Для этого изобретением предложен реактор для гидролиза гексафторида урана, содержащий:

- гидролизную камеру, содержащую стенку, ограничивающую внутренний объем;
- трубчатую форсунку, содержащую первый, второй и третий концентричные каналы для циркуляции текучих сред, при этом трубчатая форсунка проходит через стенку гидролизной камеры и имеет внутренний конец, находящийся во внутреннем объеме, и наружный конец, находящийся за пределами внутреннего объема,

в котором:

- первый, второй и третий каналы имеют на внутреннем конце соответственно первое, второе и третье внутренние отверстия, выходящие во внутренний объем;
- трубчатая форсунка содержит на наружном конце первый, второй и третий патрубки, соединенные по текучей среде соответственно с первым, вторым и третьим

каналами и выполненные с возможностью соединения соответственно с источником  $UF_6$ , с источником инертного газа и с источником водяного пара, и

- трубчатая форсунка получена посредством аддитивного изготовления.

Реактор может также иметь один или несколько следующих отличительных признаков, рассматриваемых отдельно или во всех технически возможных комбинациях:

- второй канал расположен вокруг первого канала, и третий канал расположен вокруг второго канала;

- первый, второй и третий каналы на наружном конце проходят в продольном направлении, при этом первый патрубок расположен продольно, при этом второй и третий патрубки образуют, каждый, угол, составляющий от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ , с продольным направлением;

- второй и третий патрубки находятся, по существу, на одном уровне в продольном направлении;

- трубчатая форсунка содержит муфту с продольной центральной осью, расположенную вокруг наружного конца, при этом с муфтой соединен фланец крепления трубчатой форсунки на стенке гидролизной камеры;

- трубчатая форсунка имеет овальные наружные сечения по меньшей мере на части своей длины;

- трубчатая форсунка имеет первую и вторую внутренние трубчатые перегородки, ограничивающие соответственно первый канал и второй канал, при этом указанные первая и вторая внутренние трубчатые перегородки имеют овальные сечения по меньшей мере на части длины трубчатой форсунки;

- трубчатая форсунка имеет первый прямолинейный концевой участок, образующий внутренний конец, второй прямолинейный концевой участок, образующий наружный конец, и изогнутый промежуточный участок, имеющий указанные овальные наружные сечения;

- на трубчатой форсунке выполнено ребро жесткости вдоль изогнутого промежуточного участка.

Другие отличительные признаки и преимущества изобретения будут более очевидны из нижеследующего описания, представленного в качестве неограничивающего примера, со ссылками на прилагаемые фигуры, на которых:

- на фиг. 1 показан пример осуществления заявленного гидролизного реактора, частичный вид сбоку;

- на фиг. 2 показана трубчатая форсунка, изображенная на фиг. 1, вид сверху;

- на фиг. 3 показан внутренний конец трубчатой форсунки, изображенной на фиг. 1 и

2, вид в направлении стрелки III фиг. 1;

на фиг. 4 показан наружный конец трубчатой форсунки, вид в разрезе по стрелкам IV фиг.5;

на фиг. 5 показан наружный конец трубчатой форсунки, изображенной на фиг. 4, вид в продольном разрезе.

Уже давно в промышленном масштабе применяют прямое сухое преобразование  $UF_6$  в оксид урана. Используемое промышленное оборудование обычно включает в себя последовательно:

- реактор, оснащенный средствами подачи  $UF_6$  и водяного пара, предназначенных для получения  $UO_2F_2$  путем гидролиза;

- вращающуюся трубчатую пирогидролизную печь, предназначенную для преобразования  $UO_2F_2$  в оксид урана, оснащенную средствами нагрева и средствами противоточной подачи водяного пара и водорода; и

- средства упаковки порошка оксида.

При этом применяют следующие химические реакции:

- $UF_6 + 2H_2O \rightarrow UO_2F_2 + 4HF$  в реакторе;

- $UO_2F_2 + H_2O \rightarrow UO_3 + 2HF$ ;

- $UO_3 + H_2 \rightarrow UO_2 + H_2O$  в печи.

Реактор 1, частично показанный на фиг. 1, предназначен для осуществления первого этапа, то есть гидролиза гексафторида урана  $UF_6$  в  $UO_2F_2$ .

Этот реактор 1 содержит гидролизную камеру 3 со стенкой 5, ограничивающей внутренний объем 7.

Гидролизный реактор 1 содержит также трубчатую форсунку 9, содержащую первый, второй и третий концентричные каналы циркуляции текучей среды (см. фиг. 2-5). Как показано на фиг. 1, трубчатая форсунка 9 проходит через стенку 5 гидролизной камеры 3 и имеет внутренний конец 17, находящийся во внутреннем объеме 7, и наружный конец 19, находящийся за пределами внутреннего объема 7.

Первый, второй и третий каналы 11, 13, 15 имеют на своих внутренних концах соответственно первое, второе и третье внутренние отверстия 21, 23, 25 (фиг. 3), выходящие во внутренний объем 7.

На своем наружном конце 19 трубчатая форсунка 9 содержит первый, второй и третий патрубки 27, 29, 31 (см. фиг. 2 и 5), соединенные по текучей среде соответственно с первым, вторым и третьим каналами 11, 13, 15.

Первый, второй и третий патрубки 27, 29, 31 выполнены с возможностью соединения соответственно с источником 33  $UF_6$ , с источником 35 инертного газа и с

источником 37 водяного пара.

Эти источники 33, 35, 37 схематично показаны на фиг. 2.

В представленном примере первый, второй и третий патрубки 27, 29, 31 соединены с источниками 33, 35, 37 посредством соединительных трубок, обозначенных соответственно 39, 41, 43. Эти трубки приварены соответственно к патрубкам 27, 29, 31 и закреплены при помощи фланцевого соединения на источниках 33, 35, 37.

Обычно реактор 1 заключен в не показанный обогреваемый бокс, выполненный из теплоизоляционного материала. Внутри этого бокса расположены не показанные нагревательные резисторы.

UF<sub>6</sub> нагнетают в гидролизную камеру 3 в газообразном виде.

После реакции гидролиза он преобразуется в UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, который имеет вид мелких частиц. Эти частицы опускаются под действием силы тяжести на дно гидролизной камеры 3 и перемещаются в трубчатую печь, где происходит преобразование UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> в оксид урана.

Это перемещение производят, например, при помощи шнека.

Как показано на фиг. 2-5, второй канал 13 расположен вокруг первого канала 11, и третий канал 15 расположен вокруг второго канала 13.

Иначе говоря, каналы расположены таким образом, чтобы первый канал находился в центре трубчатой форсунки, чтобы третий канал располагался ближе к наружной стороне трубчатой форсунки, и чтобы второй канал находился между первым каналом и третьим каналом.

Для этого трубчатая форсунка имеет первую и вторую внутренние трубчатые перегородки 45, 47, ограничивающие соответственно первый канал 11 и второй канал 13. Наружная стенка 49 образует наружную поверхность трубчатой форсунки. Первая внутренняя перегородка отделяет первый канал 11 от второго канала 13. Вторая внутренняя перегородка 47 отделяет второй канал 13 от третьего канала 15. Наружная стенка 49 закрывает третий канал радиально снаружи.

Во втором канале 13 и в третьем канале 15 выполнены не показанные распорки, чтобы удерживать постоянный промежуток между первой внутренней перегородкой 45 и второй внутренней перегородкой 47 и между второй внутренней перегородкой 47 и наружной стенкой 49.

Это позволяет поддерживать постоянное проходное сечение вдоль второго и третьего каналов 13, 15.

Согласно изобретению, трубчатую форсунку 9 получают посредством аддитивного изготовления. Этот способ изготовления известен также под названием 3D-печати.

Обычно трубчатую форсунку выполняют из металла, например, из инконеля, или

из любого другого соответствующего материала.

Предпочтительно трубчатую форсунку 9 полностью выполняют посредством аддитивного изготовления.

В частности, путем аддитивного изготовления получают первую и вторую внутренние перегородки 45, 47, наружную стенку 49, первый, второй и третий патрубки 27, 29, 31.

Такой способ изготовления позволяет гарантировать отличное качество изготовления.

Это позволяет получить, в частности, отличную concentricity и, следовательно, исключительно равномерное проходное сечение вдоль каналов 11, 13 и 15.

Благодаря отсутствию сварных швов между деталями, ограничивающими каналы, потери напора во время прохождения газов вдоль каналов значительно уменьшаются. Это способствует повышению производительности гидролизного реактора.

С учетом выполнения трубчатой форсунки посредством аддитивного изготовления становится возможным получить отличную concentricity первого, второго и третьего каналов. Это освобождает от необходимости установки большого числа распорок между внутренними стенками 45, 47 и между внутренней стенкой 47 и наружным концом 19. Это тоже способствует уменьшению потерь напора и получению воспроизводимых рабочих характеристик. При использовании известных трубчатых форсунок, которые выполнены не посредством аддитивного изготовления, а механическим путем с применением сварки, потери напора газов, проходящих вдоль каналов, менялись от одной трубчатой форсунки к другой.

Это в некоторой степени объясняет тот факт, что трубчатую форсунку, адаптированную для данного гидролизного реактора, нельзя использовать в другом гидролизном реакторе.

Таким образом, рабочие характеристики трубчатой форсунки, в частности, потери напора, становятся намного более воспроизводимыми. За счет этого трубчатую форсунку, применяемую на данном гидролизном реакторе, можно намного легче использовать затем на другом гидролизном реакторе.

Как показано, в частности, на фиг. 5, первый, второй и третий каналы 11, 13, 15 на наружном конце 19 трубчатой форсунки проходят в продольном направлении.

Первый патрубок 27 тоже проходит продольно вдоль наружного конца 19.

Второй и третий патрубки 29, 31 образуют, каждый, угол, составляющий от 30° до 90° с продольным направлением.

В представленном примере второй и третий патрубки 29, 31 образуют угол 45° с

продольным направлением.

Этот угол обычно измеряют между центральной осью внутреннего канала патрубка и продольным направлением.

Первый, второй и третий патрубки 29, 31 расположены, по существу, в одной плоскости, как можно заметить при сравнении фиг. 1 и 2.

Предпочтительно второй 29 и третий 31 патрубки находятся, по существу, на одном уровне в продольном направлении.

Второй и третий патрубки 29, 31 выступают сбоку относительно наружной стенки 49 трубчатой форсунки. Они расположены с двух сторон от первого патрубка 27.

Каждый из второго и третьего патрубков 29, 31 выполнен в виде трубки, наружная концевая часть 51 которой выступает относительно наружной стенки 49.

Второй патрубок 29 имеет внутреннюю концевую часть 53, которая проходит через третий канал 15 и выходит во второй канал 13 через вторую трубчатую перегородку 47.

Внутренняя концевая часть 53 неподвижно соединена со второй внутренней перегородкой 47.

Третий патрубок 31 имеет концевую часть 55, неподвижно соединенную с наружной стенкой 49. Внутренний канал третьего патрубка сообщается с третьим каналом 15 через наружную перегородку 49.

Второй 29 и третий 31 патрубки находятся, по существу, на одном уровне в продольном направлении в том смысле, что концевые части 53 и 55 второго и третьего патрубков находятся в продольном направлении, по существу, на одном уровне.

Иначе говоря, отверстия, выполненные соответственно во второй перегородке 47 и в наружной стенке 49 и устанавливающие сообщение между внутренними каналами патрубков 29 и 31 и вторым каналом 13 и третьим каналом 15, находятся в продольном направлении, по существу, на одном уровне.

Благодаря этому, конструкция наружного конца 19 трубчатой форсунки является исключительно компактной в продольном направлении. В известных технических решениях патрубки смещены в продольном направлении относительно друг друга по причине механической сварной конструкции трубчатой форсунки.

Более компактная конструкция в продольном направлении облегчает выполнение трубчатой форсунки посредством аддитивного изготовления. Нет необходимости предусматривать инструмент большого размера для изготовления, и инструмента небольшого размера достаточно, что позволяет сэкономить на стоимости.

Кроме того, трубчатая форсунка 9 содержит муфту 57 с продольной центральной осью, расположенную вокруг наружного конца 19.

Муфта 57 имеет общую цилиндрическую форму и круглое сечение. Муфта 57 в продольном направлении продолжена конусом 59, направленным в сторону первого патрубка 27. Конус 59 неподвижно соединен с одним из краев замкнутого контура муфты 57. Он также неподвижно соединен с наружной стенкой 49 и со вторым и третьим патрубками 29, 31. Конус 59 позволяет соединить муфту 57 с наружным концом 19.

Муфта 57 и конус 59 являются частью трубчатой форсунки и тоже получены посредством аддитивного изготовления.

Как показано на фиг. 1 и 2, на муфте 57 установлен фланец 61 крепления трубчатой форсунки 9 на стенке 5 гидролизной камеры.

Фланец 61 расположен снаружи вокруг муфты 57. Таким образом, она имеет центральное отверстие, в которое заходит фланец 61, который закреплен на муфте 57 при помощи любого средства, например, посредством врезки. Фланец 61 жестко закреплен на стенке 5 при помощи любых соответствующих средств, например, винтов.

Предпочтительно трубчатая форсунка имеет овальные наружные сечения по меньшей мере на части своей длины.

Как правило, эти овальные сечения имеют эллиптическую форму.

Как показано на фиг. 1, трубчатая форсунка имеет первый прямолинейный концевой участок 63, образующий внутренний конец 17.

Трубчатая форсунка 9 имеет также второй прямолинейный концевой участок 65, образующий наружный конец 19.

Между первым и вторым концевыми участками трубчатая форсунка 9 имеет изогнутый промежуточный участок 67.

Например, участки 63 и 65 являются перпендикулярными друг к другу.

По меньшей мере изогнутый промежуточный участок имеет овальные наружные сечения. В представленном примере второй концевой участок 65 тоже имеет овальные наружные сечения.

Вместе с тем, первый концевой участок 63 содержит концевую часть 69 круглого сечения, которая образует внутренний конец 17, и первый концевой участок 63 содержит также соединительный участок 71, соединяющий промежуточный участок 67 с концевой частью 69. Вдоль соединительного участка 71 наружное сечение постепенно переходит от овальной формы к круглой форме. Вдоль частей трубчатой форсунки, имеющих овальное наружное сечение, первая и вторая внутренние трубчатые перегородки 45, 47 тоже имеют овальные сечения.

В данном случае овальное наружное сечение трубчатой форсунки образовано наружной стенкой.

Следует отметить, что соответствующие овальные сечения первой и второй внутренних трубчатых перегородок 45, 47 и наружной стенки 49 являются параллельными друг другу. Иначе говоря, они являются концентричными. Это значит, что геометрические центры овалов, образованных перегородками 45, 47 и наружной стенкой 49, совпадают.

Овальные наружные сечения облегчают аддитивное изготовление.

Действительно, трубчатую форсунку изготавливают с ориентацией, показанной на фиг. 4, при которой большая ось овала ориентирована в вертикальном направлении.

Во время выполнения верхней части сечения риск оседания снижается по сравнению с риском оседания, если бы сечение было круглым.

Следует отметить, что на трубчатой форсунке выполнено ребро 73 жесткости вдоль изогнутого промежуточного участка. Это позволяет усилить жесткость трубчатой форсунки. Как показано на фиг. 1, внутри гидролизного реактора первый концевой участок имеет вертикальную ориентацию. Внутренний конец направлен вниз. Второй концевой участок имеет, по существу, горизонтальную ориентацию.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Реактор (1) для гидролиза гексафторида урана, содержащий:

- гидролизную камеру (3), содержащую стенку (5), ограничивающую внутренний объем (7);

- трубчатую форсунку (9), содержащую первый (11), второй (13) и третий (15) концентричные каналы для циркуляции текучих сред, при этом трубчатая форсунка (9) проходит через стенку (5) гидролизной камеры (3) и имеет внутренний конец (17), находящийся во внутреннем объеме (7), и наружный конец (19), находящийся за пределами внутреннего объема (7),

в котором:

- первый (11), второй (13) и третий (15) каналы имеют на внутреннем конце (17) соответственно первое (21), второе (23) и третье (25) внутренние отверстия, выходящие во внутренний объем (7);

- трубчатая форсунка (9) содержит на наружном конце (19) первый (27), второй (29) и третий (31) патрубки, соединенные по текучей среде соответственно с первым (11), вторым (13) и третьим (15) каналами и выполненные с возможностью соединения соответственно с источником UF<sub>6</sub>, с источником инертного газа и с источником водяного пара, и

- трубчатая форсунка (9) получена посредством аддитивного изготовления.

2. Реактор (1) по п. 1, в котором второй канал (13) расположен вокруг первого канала (11), а третий канал (15) расположен вокруг второго канала (13).

3. Реактор (1) по пп. 1 или 2, в котором первый (11), второй (13) и третий (15) каналы на наружном конце (19) проходят в продольном направлении, при этом первый патрубков (27) расположен продольно, при этом второй (29) и третий (31) патрубки образуют, каждый, угол, составляющий от 30° до 90°, с продольным направлением.

4. Реактор (1) по п. 3, в котором второй (29) и третий (31) патрубки находятся, по существу, на одном уровне в продольном направлении.

5. Реактор (1) по пп. 3 или 4, в котором трубчатая форсунка (9) содержит муфту (57) с продольной центральной осью, расположенную вокруг наружного конца (19), при этом с муфтой (57) соединен фланец (61) крепления трубчатой форсунки (9) на стенке (5) гидролизной камеры (3).

6. Реактор (1) по любому из пп. 1-5, в котором трубчатая форсунка (9) имеет овальные наружные сечения по меньшей мере на части своей длины.

7. Реактор (1) по п. 6, в котором трубчатая форсунка (9) имеет первую (45) и вторую (47) внутренние трубчатые перегородки, ограничивающие соответственно первый

канал (11) и второй канал (13), при этом указанные первая (45) и вторая (47) внутренние трубчатые перегородки имеют овальные сечения по меньшей мере на части длины трубчатой форсунки (9).

8. Реактор (1) по пп. 5 или 6, в котором трубчатая форсунка (9) имеет первый прямолинейный концевой участок (63), образующий внутренний конец (17), второй прямолинейный концевой участок (65), образующий наружный конец (19), и изогнутый промежуточный участок (67), имеющий указанные овальные наружные сечения.

9. Реактор (1) по п. 7, в котором на трубчатой форсунке (9) выполнено ребро (73) жесткости вдоль изогнутого промежуточного участка (67).

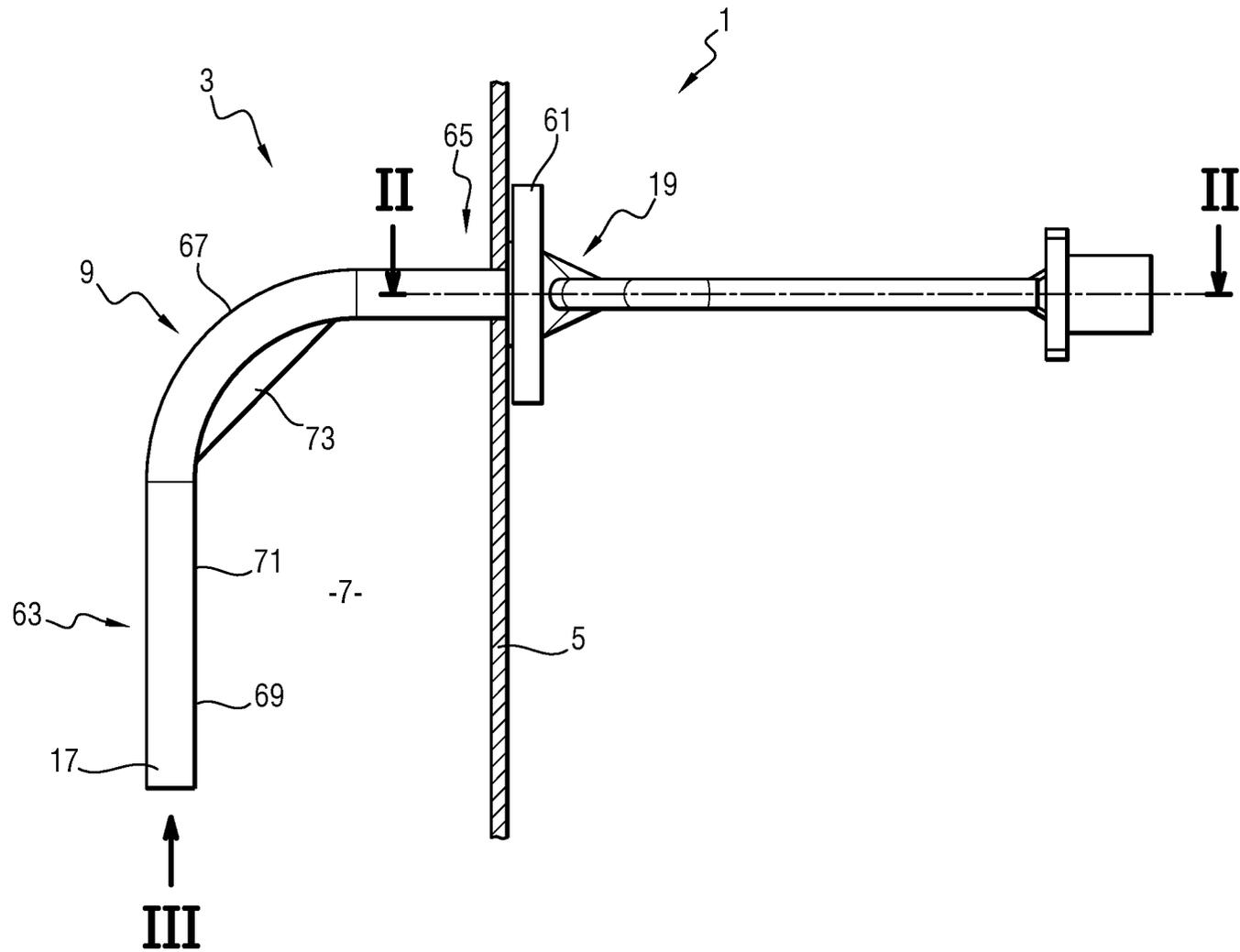


FIG. 1

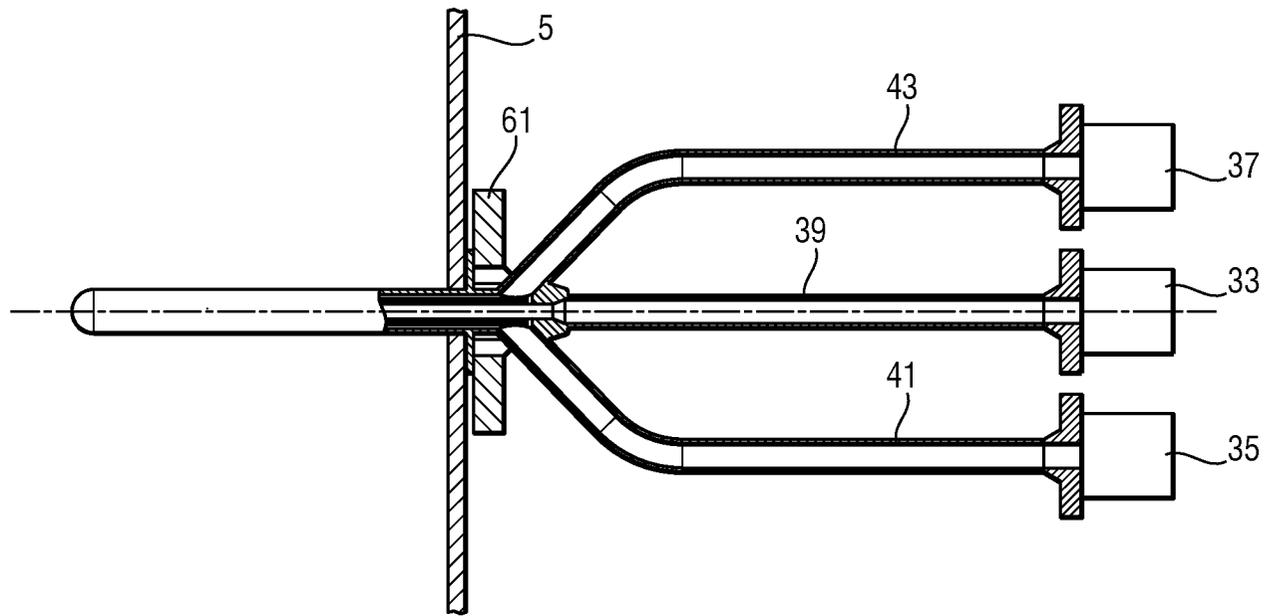


FIG.2

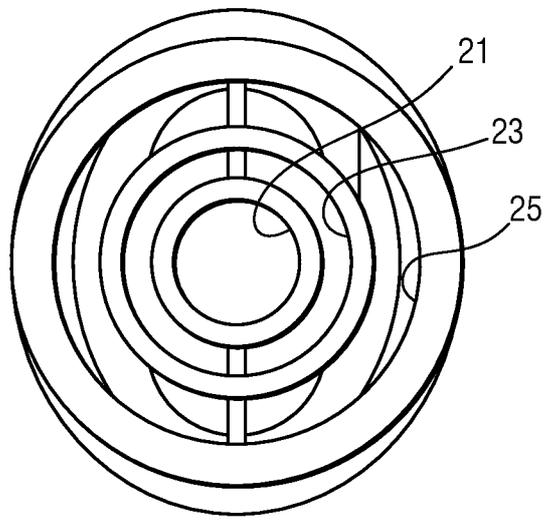


FIG.3

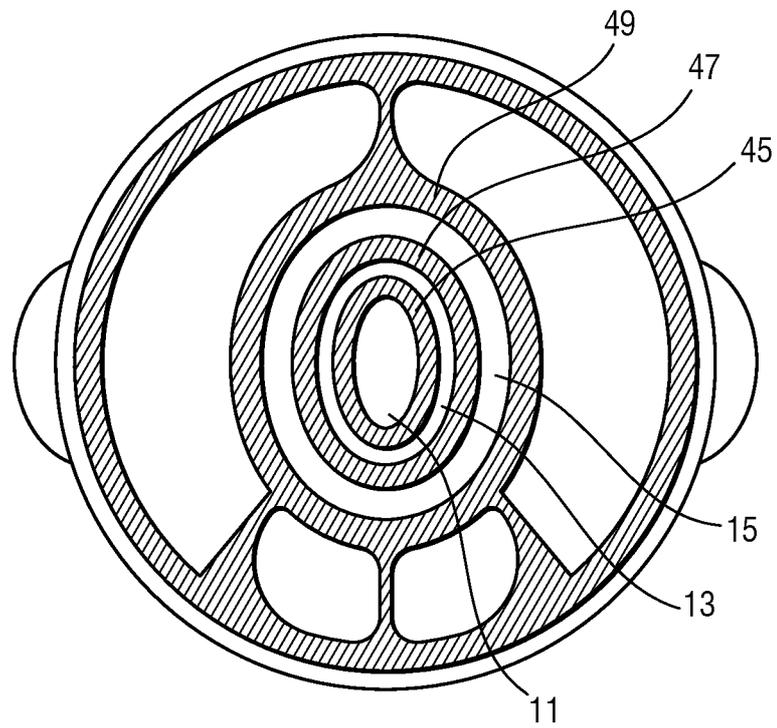


FIG.4

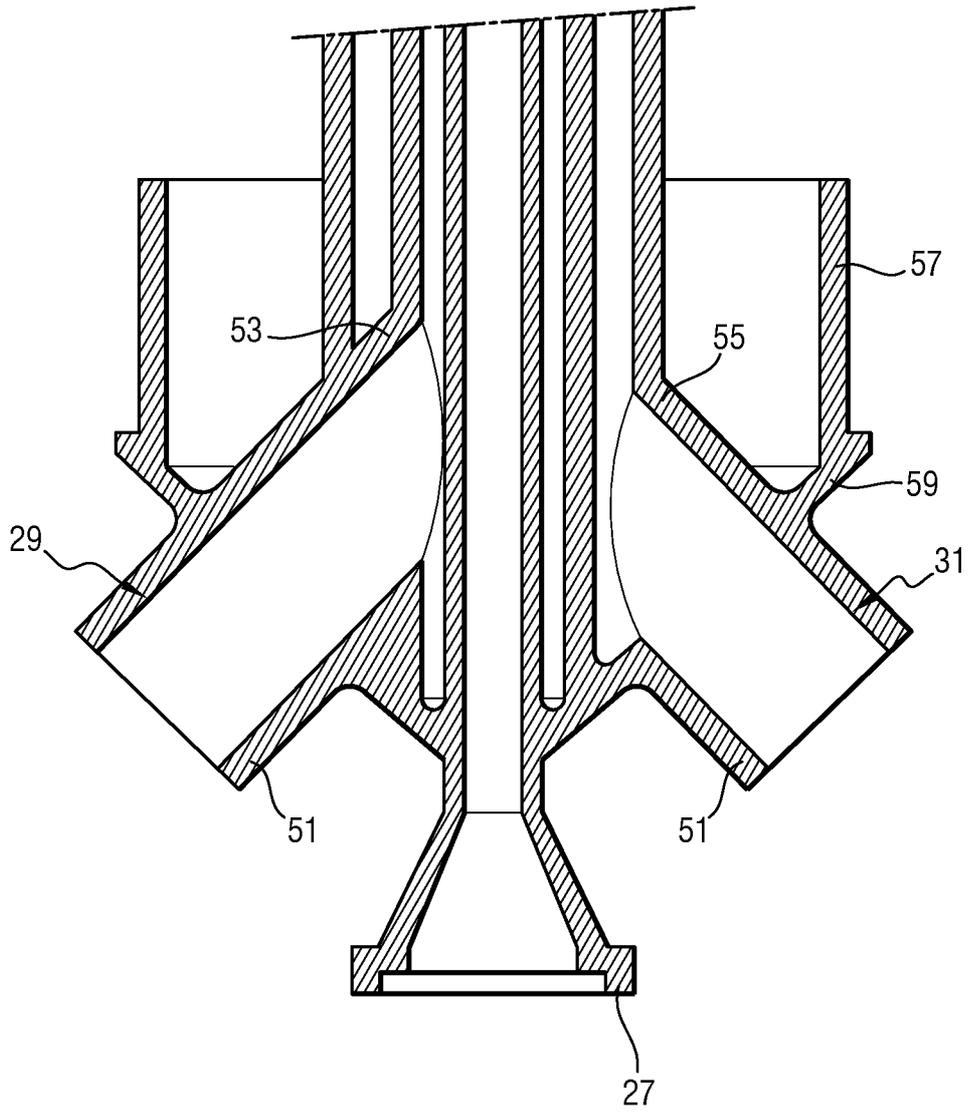


FIG. 5