

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 038289

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.08.05

(21) Номер заявки
201992711

(22) Дата подачи заявки
2018.05.01

(51) Int. Cl. *B01D 53/18* (2006.01)
B01D 3/28 (2006.01)
B01D 3/30 (2006.01)

(54) РОТАЦИОННОЕ АБСОРБЕРНОЕ УСТРОЙСТВО И СПОСОБ МОКРОЙ ОЧИСТКИ
ГАЗА ОТ АБСОРБАТА

(31) 2018925

(32) 2017.05.16

(33) NL

(43) 2020.04.30

(86) PCT/NL2018/050286

(87) WO 2018/212643 2018.11.22

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
РОМИКО ХОЛД А.В.В. (NL)

(72) Изобретатель:
Брауверс Йозеф Йоханнес Хубертюс
(NL)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) US-A-2662759
US-A-3486743
CH-A5-608192
NL-A-7608232
US-A1-2012198999

(57) Описаны устройство и способ для мокрой очистки газа от абсорбата. Ротационное абсорберное устройство содержит корпус, имеющий впуск для газа, выпуск для газа, впуск для абсорбирующей жидкости и выпуск для абсорбирующей жидкости; ротор, установленный с возможностью вращения в указанном корпусе и соединенный с впусками и выпусками, причем ротор содержит множество каналов для мокрой очистки, проходящих в осевом направлении и параллельно общей оси вращения; и средство для вращения ротора. Устройство и способ обеспечивают мокрую очистку газа с улучшенной селективностью и эффективностью.

038289

B1

038289

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к ротационному абсорберному устройству для мокрой очистки газа от абсорбата. Изобретение также относится к способу мокрой очистки газа от абсорбата.

Уровень техники

Мокрая очистка отработавшего газа от нежелательных компонентов (абсорбата) осуществляется уже давно. Типичные установки мокрой очистки приводят поток газа в контакт с так называемой абсорбирующей жидкостью с целью обеспечения перехода абсорбата в виде некоторых газообразных компонентов из газа в жидкость. Мокрая очистка может, например, использоваться для ограничения выбросов. Мокрая очистка также именуется абсорбцией в данной области техники.

Во время мокрой очистки происходит перенос компонентов из газа в абсорбирующую жидкость. Уровень газообразных компонентов, которые фактически переходят в абсорбирующую жидкость, определяется среди прочих факторов способностью абсорбата растворяться в абсорбирующей жидкости. Закон Генри применим к растворимости газов в жидкостях для низких концентраций и компонентов с парциальным давлением <1 атм (<0,1 МПа):

$$P = H \cdot x$$

где

p = парциальное давление (Па);

x = молярная концентрация;

H = константа Генри (Па).

Это позволяет вычислить максимальную концентрацию абсорбата в абсорбирующей жидкости для любой желаемой конечной концентрации.

Традиционные способы мокрой очистки газа осуществляются с помощью распыления жидкости, мокрых тарельчатых колонн и мокрых насадочных колонн. Хотя известные устройства могут работать удовлетворительно, они подвержены усовершенствованиям, в частности применительно к их эффективности. Например, эффективность может относиться к количеству абсорбирующей жидкости, которое необходимо для поглощения определенного количества абсорбата.

В US 2662759 описано многоступенчатое фракционирующее устройство. Его назначение заключается в том, чтобы разделить поступающую среду на различные компоненты, что совершенно отличается от мокрой очистки, целью которой является удаление компонентов из газа путем растворения этих компонентов в отдельно добавляемой жидкости. Фракционирование и мокрая очистка являются различными технологическими операциями, и их физическая сторона существенно различается, что влечет за собой различия в конструкции и способах эксплуатации. Колонна, описанная в US 2662759, содержит аксиально расположенные вращающиеся элементы и неподвижные пластины между ними, причем они снабжены каналами. Таким образом, вращение сменяется отсутствием вращения в нескольких последовательно расположенных в осевом направлении ступенях, причем каждая ступень является эквивалентом тарелки в классической фракционирующей колонне. Как утверждается, данная конфигурация усиливает радиальное перемешивание с уменьшением горизонтальной неоднородности в концентрациях и температурах. Достижение равновесия на ступени действительно является желательной особенностью фракционирующей колонны. Однако расположение вращающихся и невращающихся элементов делает устройство US 2662759 непригодным для мокрой очистки. Вертикальное пространство между каждым вращающимся и невращающимся элементом образует зазор, через который абсорбирующая жидкость может перемещаться в радиальном направлении в результате центробежных сил, действующих на жидкость. Введенная абсорбирующая жидкость при этом будет все больше и больше перемещаться к радиально внешней части колонны с вертикальным расстоянием от находящегося выше по потоку конца (верхнего конца) устройства. Это может привести к неоднородному распределению абсорбирующей жидкости по каналам и необходимая мокрая очистка может не произойти.

Целью настоящего изобретения является предложить абсорберное устройство для мокрой очистки газа от абсорбата, имеющее повышенную эффективность по сравнению с устройствами известного уровня техники. Еще одной целью является предложить более компактное абсорберное устройство для мокрой очистки газа от абсорбата. Другой целью является обеспечить более эффективный способ мокрой очистки газа от абсорбата.

Описание изобретения

Эти и другие цели обеспечиваются устройством по п.1. Изобретение предлагает ротационное абсорберное устройство для мокрой очистки газа от абсорбата, устройство, содержащее корпус, имеющий выпуск для газа, выпуск для газа, выпуск для абсорбирующей жидкости и выпуск для абсорбирующей жидкости; ротор, установленный с возможностью вращения в указанном корпусе и соединенный со впусками и выпусками, причем ротор содержит множество каналов для мокрой очистки, проходящих в осевом направлении и параллельно общей оси вращения; и средство для вращения ротора. Каналы окружены стенками по всей осевой длине ротора между впуском для абсорбирующей жидкости и выпуском для абсорбирующей жидкости; и устройство также содержит средство для обеспечения непрерывного потока абсорбирующей жидкости к впуску для абсорбирующей жидкости.

Устройство по изобретению позволяет эффективно поглощать абсорбат из газа. При этом, способ в соответствии с изобретением, направленный на мокрую очистку газа от абсорбата, включает в себя обеспечение ротационного абсорбционного устройства в соответствии с изобретением, подачу газа к впуску для газа, подачу абсорбирующей жидкости ко впуску для абсорбирующей жидкости, вращение ротора в указанном корпусе, которое заставляет абсорбирующую жидкость удерживаться в пределах внутренней поверхности стенки каналов для мокрой очистки и образовывать там пленку, позволяющую осуществлять перенос молекул абсорбата из газа к абсорбирующей жидкости, и выход газа через выпуск для газа, и абсорбирующей жидкости - через выпуск для абсорбирующей жидкости. Газ, который поступает в корпус и каналы для мокрой очистки вращающегося ротора, содержит вещество, называемое абсорбатом, которое поглощено жидкостью, называемой абсорбентом или абсорбирующей жидкостью. В процессе обычной работы пленка, которая образуется на стенках каналов, поглощает по меньшей мере часть абсорбата, и пленка, содержащая (часть) абсорбата в варианте осуществления, течет параллельно газу в каналах для мокрой очистки и, в конечном счете, распадается на капли при выходе из каналов. Вследствие вращения ротора капли абсорбирующей жидкости движутся радиально наружу относительно центральной оси вращения ротора, в направлении выпуска абсорбирующей жидкости из корпуса, где жидкость удаляется и/или собирается.

Ротационное абсорбционное устройство по изобретению имеет то преимущество, что оно может быть выполнено относительно небольшим по размеру, в частности, относительно известных абсорбционных устройств, таких как, например, распылительные колонны. Малый размер достигается за счет обеспечения множества предпочтительно параллельных каналов небольшого размера в роторе. Размер поперечного сечения каналов для мокрой очистки может быть выбран в широком диапазоне, в зависимости от конкретного применения. Подходящая ширина поперечного сечения каналов может составлять всего 1 мм или даже 0,1 мм, и предпочтительно ограничена 10 мм, более предпочтительно - 5 мм. Вследствие вращения ротора абсорбирующая жидкость будет перемещаться в направлении и, в конечном счете, ограничиваться внутренней поверхностью стенки каждого канала, где она образует пленку толщиной 0,001-1 мм, более предпочтительно 0,010-0,1 мм. Малая ширина поперечного сечения каналов и малая толщина пленки способствует низкому сопротивлению переносу молекул абсорбата из газа в абсорбирующую жидкость.

Еще одним преимуществом вращающегося ротора является то, что абсорбирующая жидкость по меньшей мере частично отделяется в виде капель, которые выталкиваются к выпуску для жидкости. Это разделение, вызванное вращением, позволяет избежать необходимости установки отдельного жидкостного сепаратора ниже по потоку от действующего абсорбционного устройства, как это обычно делается в известном уровне техники.

Результатом использования устройства по изобретению является компактная и эффективная система для удаления компонентов (абсорбата) в газах абсорбцией. Устройство по изобретению также можно использовать для охлаждения газов и удаления конденсированных компонентов, которые абсорбированы в жидкой пленке.

Под действием центробежной силы жидкость и газ, которые приводятся во вращение при прохождении через канал для мокрой очистки ротора, перемещаются радиально, в направлении от оси вращения к радиальной границе, которая проходит параллельно оси вращения и образует границу каналов в роторе. Внешняя граница каналов для мокрой очистки служит средством для сбора тех частей жидкости, которые смогли достичь и осесть на этой границе и которые впоследствии могут быть удалены из газа, протекающего параллельно вдоль границы сбора. Степень, в которой жидкость может достигать границы сбора и осуществлять поглощение абсорбата из газа, можно оценить по времени, в течение которого молекула жидкости достигает границы сбора, наряду со временем пребывания, временем прохождения газа через канал. Специалист в данной области техники сможет выбрать подходящую осевую скорость газа, чтобы достичь желаемого эффекта образования жидкой пленки и поглощения компонентов газа. Подходящая осевая протяженность ротора и каналов для мокрой очистки может быть в 100-5000 раз больше ширины поперечного сечения каналов.

Газ и жидкость в варианте осуществления ротационного абсорбционного устройства вводятся выше по потоку от ротора, при этом устройство оснащено впуском для газа и впуском для абсорбента, которые расположены выше по потоку от ротора. Газ и абсорбирующая жидкость в этом варианте осуществления текут в одном и том же направлении, т.е. происходит прямоточное течение. Можно также определить направление потока газа относительно жидкости и иным образом. В варианте осуществления с противотоком абсорбирующая жидкость и очищаемый газ текут в противоположных направлениях. Основное преимущество противоточной мокрой очистки заключается в том, что чем чище становится газ, тем ниже будет концентрация загрязняющих веществ в абсорбирующей жидкости.

В другом варианте осуществления ротационного абсорбционного устройства выпуск для газа и выпуск для абсорбирующей жидкости расположены ниже по потоку от ротора.

Количество каналов для мокрой очистки может быть выбрано в широком диапазоне, в зависимости от применения. Подходящий вариант осуществления ротационного абсорбционного устройства включает количество каналов для мокрой очистки, составляющее по меньшей мере 10, более предпочтительно по

меньшей мере 100 и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1000. Увеличение количества может повысить эффективность за счет перепада давления на роторе. Объединение большого числа каналов в одном вращающемся роторе обеспечивает средство для обработки больших количеств очищаемого газа.

Каналы могут быть выполнены в роторе любым возможным способом, например, путем перфорирования массивного цилиндра нужным количеством каналов, расположенных параллельно оси вращения цилиндра. Другой возможностью является создание множества узких концентрических цилиндров, и каждое кольцевое пространство между двумя соседними цилиндрами разделено по меньшей мере одной азимутально расположенной проходящей в осевом направлении перегородкой. Также могут быть предусмотрены и другие способы изготовления ротора.

Каналы полностью ограничены по окружности стенками по всей осевой длине ротора между впуском и выпуском для абсорбирующей жидкости. Отсутствие перфораций или отверстий в стенках каналов эффективно предотвращает утечку абсорбирующей жидкости в радиальном направлении из-за действия центробежной силы. Это способствует поддержанию однородного распределения абсорбирующей жидкости по всей длине вращающегося элемента. На нижнем (находящемся ниже по потоку) конце центробежная сила действует как средство для перемещения абсорбирующей жидкости в радиальном направлении при выходе из вращающегося элемента или ротора. Таким образом, жидкость, насыщенная абсорбатом, эффективно отделяется от газа, который, в зависимости от способа работы, входит или выходит из вращающегося элемента или ротора на нижнем (находящемся ниже по потоку) конце.

Средство для обеспечения непрерывного потока абсорбирующей жидкости к впуску для абсорбирующей жидкости может содержать насос или может быть оснащено системой подачи воды, например, в случае, когда абсорбирующая жидкость содержит воду.

Введенная абсорбирующая жидкость образует жидкую пленку на границе сбора каждого канала для мокрой очистки. Если вращающийся ротор установлен с вертикально расположенной осью вращения, собранная жидкость не будет предпочтительно течь вниз под действием силы тяжести, но будет предпочтительно увлекаться потоком газа в каналы для мокрой очистки из-за усилий сдвига. На уровень усилия сдвига в каналах может влиять градиент давления в каналах для мокрой очистки. Этот градиент давления может определяться давлением газа выше по потоку, т.е. давлением газа на впуске для газа.

Для того чтобы иметь возможность увеличить усилие сдвига в каналах до любого предпочтительного уровня, вариант осуществления изобретения предлагает устройство, которое дополнительно содержит средство сжатия входящего (подаваемого) газа. В соответствующем варианте осуществления способа входящий (подаваемый) газ сжимается до давления в диапазоне от 1 бар до 20 бар (0,1-2 МПа), более предпочтительно в диапазоне от 1 бар до 10 бар (0,1-1,0 МПа) для достижения наилучших результатов.

За счет центробежной силы жидкость при выходе из ротора и его каналов для мокрой очистки выталкивается наружу. Вращение как таковое может не оказывать большого влияния на перенос и поглощение молекул. Однако вращение ротора удерживает образованную пленку жидкости на стенках канала и препятствует или предотвращает выход этой пленки за пределы указанных стенок. В результате, наряду с достигаемым поглощением, абсорбционному устройству присуще хорошее разделение газа и жидкости. Таким образом, жидкость, выходящая из каналов, хорошо отделяется от газового потока и может быть собрана. В корпусе может быть предусмотрено средство для непрерывной транспортировки абсорбирующей жидкости.

Каналы предпочтительно расположены, по существу, параллельно оси вращения. Применение стенок сбора, расположенных не параллельно оси вращения, приводит к созданию компонента центробежной силы, действующего параллельно границе сбора, и может служить средством для улучшения непрерывной транспортировки собранной жидкой пленки вдоль стенок канала. Однако такие наклонные стенки могут вызывать вторичные потоки, в частности, в условиях ламинарного потока, как например, вторичные потоки, обусловленные силами Кориолиса. Эти вторичные силы могут нарушать процесс радиального перемещения и осаждения частиц жидкости. Небольшой наклон порядка 0,1-1 радиан может быть полезным.

Вариант осуществления ротационного абсорберного устройства дополнительно включает в себя средство для направления потока, обеспеченное выше по потоку и/или ниже по потоку от ротора, причем необязательно расположенное выше по потоку средство направления потока служит в качестве средства для вращения ротора.

Подходящие варианты осуществления ротационного абсорберного устройства имеют средство для направления потока, содержащее улитку, лопатку статора или импеллер, или их комбинацию. Они могут привести входящий газ во вращение и свести к минимуму потери давления в устройстве, в частности, при обеспечении ведомого средства направления потока, установленного выше по потоку и/или ниже по потоку от каналов для мокрой очистки ротора. Средство направления потока может в некоторых вариантах осуществления действовать как средство вращения ротора.

Для эффективного сбора абсорбирующей жидкости, содержащей (часть) абсорбата, вариант осуществления ротационного абсорберного устройства также включает в себя коллектор абсорбирующей жидкости, который соединяется с выпуском для абсорбирующей жидкости. Этот коллектор предпочтительно предусмотрен внутри корпуса устройства и может, например, быть выполнен в виде цилиндрического

выступа или лотка, расположенного напротив боковой стенки корпуса.

Из-за сравнительно малой ширины поперечного сечения каналов в роторе газ внутри каналов может оказывать довольно сильное сдвиговое усилие на жидкую пленку, образованную на граничных стенках каналов. Это может привести к тому, что жидкость будет течь в том же самом направлении, что и поток газа. При этом газ и жидкость текут в одном направлении, и дальнейшее улучшение поглощения такими однонаправленными потоками может быть достигнуто в предпочтительных вариантах осуществления устройства, в котором роторы установлены последовательно. Подходящий вариант осуществления в этом отношении обеспечивает ротационное абсорбционное устройство, в котором корпус содержит первый и второй роторы, установленные с возможностью вращения в указанном корпусе, при этом второй ротор предусмотрен в осевом направлении ниже по потоку от первого ротора.

Ротационное абсорбционное устройство в соответствии с вариантом осуществления содержит первый и второй впуски для абсорбирующей жидкости, расположенные выше по потоку от первого и второго роторов, соответственно, тогда как другой вариант осуществления, который может быть объединен с первым вариантом осуществления, содержит первый и второй выпуск для абсорбирующей жидкости, расположенные ниже по потоку от первого и второго роторов, соответственно.

В другом варианте осуществления ротационного абсорбционного устройства по меньшей мере один из первого и второго выпусков для абсорбирующей жидкости снова соединяется с по меньшей мере одним из первого и второго впусков для абсорбирующей жидкости, и устройство, в котором второй выпуск для абсорбирующей жидкости снова соединяется с первым впуском для абсорбирующей жидкости, является особенно предпочтительным. В случае двух роторов, расположенных последовательно друг относительно друга, газ, выходящий из первого ротора, поступает во второй ротор, в то время как свежая абсорбирующая жидкость подается во второй ротор. При выходе из второго ротора частично использованная абсорбирующая жидкость подается в первый ротор и выходит из этого ротора в виде более полно или даже полностью использованной абсорбирующей жидкости.

В процессе работы концентрация абсорбата в газе будет уменьшаться, тогда как концентрация абсорбата в жидкости будет увеличиваться. Равновесная концентрация в газе, которая соответствует определенной концентрации в жидкости, определяется рядом факторов, включая температуру. Чем выше температура в жидкости, тем выше будет равновесная концентрация в газе. Таким образом, снижение температуры оказывает благоприятное воздействие на эффективность ротационного абсорбционного устройства, которое предпочтительно эксплуатируется при температурах ниже 50°C, более предпочтительно ниже 40°C, более предпочтительно при комнатной температуре, и наиболее предпочтительно при температуре ниже 10°C.

Можно увеличить эффективность, т.е. поглощение абсорбата жидкостью, путем добавления химических веществ к абсорбирующей жидкости, которые способствуют превращению абсорбированных компонентов. Таким образом, добавление химических веществ, которые реагируют с абсорбированными газами, оказывает положительное влияние на эффективность абсорбции.

Кроме воды, в качестве абсорбирующих жидкостей могут использоваться органические жидкости. В соответствующих случаях к абсорбирующей жидкости могут быть добавлены химические вещества или микроорганизмы для превращения или нейтрализации газов, растворенных в жидкости. В результате такого превращения концентрация в жидкости снижается, что, в свою очередь, позволяет большему количеству газа растворяться в соответствии с законом Генри.

Соотношение жидкость-газ в ротационном устройстве для мокрой очистки включает отношение между скоростью потока абсорбирующей жидкости и скоростью потока газа. Устройство по изобретению может требовать меньшего количества жидкости на м³ газа для достижения желаемой остаточной эмиссии, по сравнению с традиционными устройствами.

Хотя индуцированные центробежной силой радиальные скорости частиц жидкости в каналах могут быть очень малы, небольшие возмущения в потоке газа и жидкости могут быть благоприятны для процесса абсорбции газообразных компонентов, а также формирования пленки жидкости на внешних граничных стенках. Вариант осуществления способа, в котором гидравлический диаметр каналов для мокрой очистки и средняя осевая скорость газа выбираются таким образом, что число Рейнольдса в каналах превышает 1800, более предпочтительно 2000, и газ проходит через каналы для мокрой очистки в (потенциально) турбулентном потоке, является, соответственно, предпочтительным. Турбулентный поток обычно достигается, когда число Рейнольдса потока через канал превышает 1800, предпочтительно превышает 2000. Число Рейнольдса хорошо известно и зависит от средней осевой скорости потока газа через канал, кинематической вязкости несущего газа и гидравлического диаметра канала. Гидравлический диаметр может быть определен в соответствии с хорошо известными принципами и для канала круглого сечения равен его диаметру. На среднюю осевую скорость газа может влиять градиент давления в каналах для мокрой очистки. Показано, что преобладающий турбулентный поток в каналах для мокрой очистки улучшает эффективность абсорбции, возможно, благодаря лучшему переносу молекул газа в абсорбирующую жидкость. Усилия сдвига, действующие на жидкость, в турбулентных условиях возрастают относительно усилий сдвига в ламинарных условиях. Повышенные усилия сдвига могут вызвать однонаправленный поток газа и жидкости, и вариант осуществления способа, в котором в каналах для мокрой

очистки осуществляется турбулентный и однонаправленный поток газа и жидкости, является особенно предпочтительным.

Турбулентный поток газа в каналах будет преобладать при достаточно большом числе Рейнольдса. Для получения практически реалистичных значений скорости потока и диаметра канала может потребоваться давление в каналах на уровне 2 бар (0,2 МПа) или даже 5 бар (0,5 МПа), что дает достаточно большое значение плотности газа для получения турбулентного потока. При увеличении давления и плотности вместе с турбулентным потоком усилие сдвига, действующее посредством газа на пленку жидкости, будет большим до такой степени, что поток газа и поток жидкости смогут течь в одном и том же направлении, по меньшей мере, частично. Также для вертикального положения каналов сила тяжести может быть недостаточно большой, чтобы привести к нисходящему потоку жидкости под действием силы тяжести, противоположной восходящему потоку газа. В этом случае противоточный поток в каналах может оказаться невозможным. С другой стороны, при более умеренном давлении ниже 2 бар (0,2 МПа) или 5 бар (0,5 МПа), поток газа является преимущественно ламинарным, и усилие сдвига больше не может превышать силу тяжести. Противоточный процесс может тогда быть возможен за счет инжектирования жидкости в верхнюю часть (впускной конец) устройства, которая стекает вниз, в то время как газ, который инжектируется в нижнюю часть (выпускной конец) устройства, течет вверх. Может быть предусмотрен вентилятор для обеспечения необходимой разности давлений для создания восходящего потока газа. В данном варианте осуществления очищенный газ покидает ротор в верхней части, и жидкость, насыщенная абсорбентом, выходит из нижней части.

Очевидно, что варианты осуществления, раскрытые в настоящей заявке, могут быть объединены в любой возможной комбинации этих вариантов осуществления, и что каждый отдельный вариант осуществления может быть объектом выделенной заявки.

Краткое описание чертежей

Приведенное выше краткое описание, а также другие цели, признаки и преимущества настоящего изобретения можно лучше понять при ознакомлении со следующим подробным описанием в настоящее время предпочтительных, но тем не менее иллюстративных вариантов осуществления, рассматриваемых вместе с прилагаемыми чертежами, на которых:

на фиг. 1А представлен схематический вид сверху ротационного абсорберного устройства в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 1В представлен схематический вид сбоку в поперечном сечении по плоскости А-А варианта осуществления, показанного на фиг. 1А;

на фиг. 2 представлен вид сбоку в поперечном сечении другого варианта осуществления ротационного абсорберного устройства в соответствии с изобретением;

на фиг. 3 представлен схематический вид сбоку еще одного варианта осуществления ротационного абсорберного устройства в соответствии с изобретением;

на фиг. 4А представлен схематический вид сверху ротационного абсорберного устройства в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения; и

на фиг. 4В представлен схематический вид сбоку в поперечном сечении по плоскости А-А варианта осуществления, показанного на фиг. 4А.

Подробное описание изобретения

На фиг. 1А и фиг. 1В показано ротационное абсорберное устройство 100 в соответствии с вариантом осуществления изобретения. Устройство 100 содержит цилиндрический корпус 16, в котором ротор 17 установлен на валу 18, поддерживаемом подшипниками 19. Ротор 17 состоит из большого числа проходящих в осевом направлении каналов 1 для мокрой очистки, расположенных параллельно оси 20 вращения. Размеры каналов 1 таковы, что в каналах 1 может быть достигнут потенциально турбулентный поток.

Ротор 17 прикреплен к валу 18, который установлен с возможностью вращения в подшипниках 19 и который при необходимости может приводиться во вращение внешним приводом. Возможная утечка между ротором 17 и корпусом 16 может быть предотвращена с помощью подходящего уплотнительного устройства. Корпус 16 предусмотрен с впуском 2 для газа и выпуском 3 для газа. Впуск 2 для газа состоит из канала, который расположен по касательной в положении 4 в цилиндрическом корпусе 16 на его впускном конце для создания вихревого вращательного движения входящего газа в корпусе 16. Вихревое движение газа вызывает вращение ротора 17 внутри корпуса 16 без помощи какого-либо внешнего привода, такого как ротационный двигатель.

Конфигурация выпуска 3 для газа представляет собой зеркальное отображение конфигурации впуска 2 для газа и содержит канал, который расположен по касательной в положении 5 в цилиндрическом корпусе 16 на его выпускном конце для направления выходящего газа из вихревого вращательного движения в поступательное движение при выходе из корпуса 16 в положении 5.

Кроме расположенных по касательной впусков 2 и выпусков 3 вращательное движение газа может также создаваться и сводиться на нет с помощью стационарных изогнутых лопастей (не показаны), предусмотренных у впускного конца и выпускного конца ротора 17. Внутренняя часть конструкции статической лопасти может содержать подшипники 19 ротора 17.

На верху корпуса 16, на его впускном конце предусмотрен вход 6 для (свежей) абсорбирующей жидкости 21. В показанном варианте осуществления жидкость 21 распыляется сверху ротора 17 в соответствии со стрелкой 23, с помощью подходящего распылительного устройства. Жидкость 21 распыляется сверху ротора 16, при этом вращение ротора вокруг оси 20 обеспечивает равномерное распределение жидкости 21 по каналам 1. На стороне выпуска ротора 16 абсорбирующая жидкость 21, которая теперь содержит абсорбат (называемая абсорбатсодержащей жидкостью 22), выходит из обращенной к ней стенки цилиндрической оболочки 7, которая образует осевое продолжение внешней граничной стенки ротора 16. На внутренней стороне стенки цилиндрической оболочки 7 формируется новая пленка абсорбатсодержащей жидкости 22, которая разрушается на наружном конце стенки цилиндрической оболочки 7 и перемещается в форме капель в камеру 8 сбора жидкости в виде цилиндрического выступа, предусмотренную внутри корпуса 17. Абсорбирующая жидкость выходит из корпуса 16 через выпуск 13.

В качестве альтернативы вертикальному расположению, показанному на фиг. 1А и фиг. 1В, ротационное абсорберное устройство 100 в соответствии с вариантом осуществления может быть расположено горизонтально. Поток жидкости 21 внутри каналов 1 регулируется центробежными силами и силами сдвига, создаваемыми газом, протекающим внутри каналов 1 ротора 17. При выходе из каналов 1 ротора 17 движение абсорбатсодержащей жидкости 22 и капель жидкости регулируется центробежными силами. Сила тяжести становится важной только тогда, когда поток жидкости останавливается в сборных резервуарах (не показаны), расположенных снаружи ротационного абсорберного устройства.

Внешний привод или двигатель могут использоваться, когда возникает необходимость вращать ротор 17 независимо от газового потока. Такое средство для вращения ротора может в таком варианте осуществления быть соединено с ротором 17, например, с помощью магнитной муфты. В таком варианте осуществления не требуется вал, выходящий наружу из корпуса 16, таким образом сохраняется преимущество отсутствия использования сложных уплотнительных устройств для предотвращения утечки газов.

Из-за малой ширины поперечного сечения каналов 1 газ будет оказывать довольно сильное сдвиговое усилие на жидкость 21, перемещаясь вниз по ротору 17 от впускного конца к выпускному концу. Это приведет к тому, что жидкость 21 будет течь в том же (нисходящем) направлении 24, что и газ. Для повышения эффективности операции мокрой очистки и со ссылкой на фиг. 2, вариант осуществления ротационного абсорберного устройства 100 может содержать первый впуск 6 для абсорбирующей жидкости 21а, и второй впуск 14 для абсорбирующей жидкости 21б, расположенные перед первым ротором 17а и вторым ротором 17б, соответственно, причем оба ротора установлены на общем валу 18. Первый выпуск 13 для абсорбирующей жидкости предусмотрен у выпускного конца первого ротора 17а, тогда как второй выпуск 15 для абсорбирующей жидкости предусмотрен ниже по потоку от второго ротора 17б, причем этот выпуск 15 снова соединяется с первым выпуском 6. Газ поступает в устройство 100 по касательной в верхней части устройства 100 через впуск 9 и выходит из устройства 100 в нижней части через выпуск 10. Вращающиеся роторы 17а и 17б установлены на общем валу 18 у верхнего конца 11 и нижнего конца 12. Роторы 17а и 17б установлены на некотором осевом расстоянии друг от друга для обеспечения установки выпусков 13 для удаления жидкости, выходящей из первого ротора 17а, и для инжектирования свежей жидкости 21б через выпуск 14 к впускному концу второго ротора 17б. Газ, выходящий из первого ротора 17а, поступает во второй ротор 17б, в то время как свежая абсорбирующая жидкость 21б подается через выпуск 14 во второй ротор 17б. При выходе из второго ротора 17б частично использованная абсорбирующая жидкость возвращается в первый ротор 17а и выходит из этого ротора 17а как более полно или даже полностью использованная абсорбирующая жидкость 22б.

Количество роторов, установленных последовательно на необязательно общем валу, может быть увеличено до более двух, чтобы приблизиться к конфигурации противоточной абсорбции более точно. Таким образом, можно применять ротационное абсорберное устройство, которое содержит по меньшей мере два последовательно расположенных ротора, более предпочтительно по меньшей мере три последовательно расположенных ротора и еще более предпочтительно по меньшей мере пять последовательно расположенных роторов.

Третий вариант осуществления ротационного абсорбера 100 показан на фиг. 3. Давление входящего потока 26 газа повышается с помощью средства сжатия в виде компрессора 25, и сжатый газ поступает через впуск 2 для газа в корпус 16 ротора ротационного абсорбера 100 согласно изобретению. Свежая жидкость для мокрой очистки или абсорбирующая жидкость поступает в корпус 16 через впуск 6 для удаления загрязнителя из газа. Очищенный газ выходит через выпуск 3 для газа, и использованная абсорбирующая жидкость - через выпуск 13. Компрессор 25 используется для создания турбулентного потока в каналах для мокрой очистки ротора ротационного абсорбера 100.

На фиг. 4А и фиг. 4В показано ротационное абсорберное устройство 100 в соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения. Устройство 100 аналогично варианту осуществления, показанному на фиг. 1А и фиг. 1В, за исключением двух отличий. Во-первых, корпус 16 оснащен впуском 2 для газа, который состоит из канала, расположенного по касательной в положении 4 в цилиндрическом корпусе 16 на его впускном конце для создания вихревого вращательного движения входящего газа в корпусе 16. Конфигурация выпуска 3 для газа представляет собой зеркальное отображение конфигура-

ции впуска 2 для газа и содержит канал, который расположен по касательной в положении 5 в цилиндрическом корпусе 16 на его впускном конце для направления выходящего газа из вихревого вращательного движения в поступательное движение при выходе из корпуса 16 в положении 5.

Как и в варианте осуществления фиг. 1А и фиг. 1В, выпуск 6 для (свежей) абсорбирующей жидкости 21 предусмотрен в верхней части корпуса 16 на его впускном конце. На стороне выпуска ротора 16 абсорбирующая жидкость 21, которая теперь содержит абсорбат (называемая абсорбатсодержащей жидкостью 22), выходит из обращенной к ней стенки цилиндрической оболочки 7, которая образует осевое продолжение внешней граничной стенки ротора 16. На внутренней стороне стенки цилиндрической оболочки 7 формируется новая пленка абсорбатсодержащей жидкости 22, которая разрушается на наружном конце стенки цилиндрической оболочки 7 и перемещается в форме капель в камеру 8 сбора жидкости в виде цилиндрического выступа, предусмотренную внутри корпуса 17. Абсорбирующая жидкость выходит из корпуса 16 через выпуск 13.

Вариант осуществления, показанный на фиг. 4А и фиг. 4В, обеспечивает противоточную работу устройства для мокрой очистки за счет инжектирования абсорбирующей жидкости в верхнюю часть (впускной конец) устройства, которая стекает вниз, в то время как газ, который инжектируется в нижнюю часть (выпускной конец) устройства, течет вверх. Может быть предусмотрен вентилятор для создания разности давлений и усиления потока газа. Очищенный газ покидает ротационный элемент в верхней части и жидкость, насыщенная абсорбатом, выходит из нижней части.

Второе отличие между вариантом осуществления на фиг. 1А и фиг. 1В и вариантом осуществления фиг. 4А и фиг. 4В заключается в том, что последний вариант осуществления содержит возвратный трубопровод 27 для избытка абсорбирующей жидкости. Возвратный трубопровод 27 соединяется с корпусом 16 у верхнего конца ротора 17 и у впуска 6, предусмотренного на вершине корпуса 16 у его впускного конца. Избыток абсорбирующей жидкости возвращается к впуску 6 по трубопроводу 27.

Избыток абсорбирующей жидкости может возникать при работе устройства в условиях противоточка и турбулентности, как объясняется ниже. Турбулентный поток газа в каналах будет преобладать при достаточно большом числе Рейнольдса. Для получения практически реалистичных значений скорости потока и диаметра канала может потребоваться давление в каналах на уровне 2, 3, 4 и до 5 бар (0,2-0,5 МПа), что дает достаточно большое значение плотности газа для получения турбулентного потока. При увеличении давления и плотности с турбулентным потоком усилие сдвига, действующее посредством восходящего потока газа на пленку жидкости, образованную в каналах, будет большим в такой степени, что поток газа и поток жидкости смогут течь в одном и том же направлении, т.е. вверх. Даже когда каналы ориентированы в вертикальном направлении, сила тяжести, действующая на абсорбирующую жидкость в каналах, может быть недостаточно велика, чтобы вызвать нисходящий поток абсорбирующей жидкости, противоположный восходящему потоку газа. В некоторых случаях противоток в каналах может быть даже невозможным. С другой стороны, при более умеренном давлении, например, ниже 5 бар (0,5 МПа), более предпочтительно ниже 4 бар (0,4 МПа), еще более предпочтительно ниже 3 бар (0,3 МПа) и наиболее предпочтительно ниже 2 бар (0,2 МПа), восходящий поток газа является преимущественно ламинарным, и усилие сдвига, оказываемое восходящим потоком газа на пленку абсорбирующей жидкости в каналах, может больше не превышать силу тяжести.

Ротационное абсорбентное устройство может применяться для удаления нежелательных газообразных компонентов из газа. Примером может служить очистка остаточного газообразного метанола, присутствующего в газовом потоке установки по производству метанола. Количество газообразного метанола обычно составляет 0,8% в потоке газа 45 нм³/с при 55 бар (5,5 МПа) и температуре окружающей среды. Ротационное абсорбентное устройство 100 снижает концентрацию метанола до 0,04%, при использовании воды в качестве абсорбирующей жидкости со скоростью подачи 2 л/с, распыляемой сверху ротора 17, вращающегося со скоростью 800 об/мин в конфигурации, показанной на фиг. 1. Ротор 17 содержит 45000 капиллярных цилиндрических каналов 1 диаметром 1,8 мм и с толщиной стенки 0,1 мм, запаянных вместе в цилиндрическую оболочку диаметром 0,45 м с осевой длиной 0,35 м.

Ротационное абсорбентное устройство согласно изобретению выступает в качестве усовершенствования по сравнению с традиционными устройствами для мокрой очистки и способами, основанными на распылительных колоннах и мокрых колоннах, которые часто используются в промышленности. Не ограничивающие примеры применения настоящего изобретения включают мокрую очистку газов, содержащих СО₂, аммиак, водяной пар, метанол, SO₂, H₂S и тому подобное. Устройство по изобретению имеет благоприятные размеры и условия эксплуатации для удаления газообразных загрязнителей из относительно небольших газоотводов и для очистки газа внутри помещений. Устройство может также использоваться для очистки от SO₂ дымовых газов. Относительно небольшой размер устройства по изобретению особенно выгоден для применения на судах, а также для других применений на море.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ротационное абсорбентное устройство для мокрой очистки газа от абсорбата, причем устройство содержит корпус, имеющий впуск для газа, выпуск для газа, впуск для абсорбирующей жидкости и сред-

ство для обеспечения непрерывного потока абсорбирующей жидкости к впуску для абсорбирующей жидкости, и выпуск для абсорбирующей жидкости; ротор, установленный с возможностью вращения в корпусе и соединенный по потоку с упомянутыми впусками и выпусками, причем ротор содержит множество каналов для мокрой очистки, проходящих в осевом направлении и параллельно общей оси вращения, причем каналы ограничены по окружности стенками по всей осевой длине ротора между впуском для абсорбирующей жидкости и выпуском для абсорбирующей жидкости, обогащенной абсорбатом; при этом устройство дополнительно включает в себя средство для вращения ротора для, по меньшей мере, частичного отделения абсорбирующей жидкости, поданной к ротору, от газа, поданного к ротору, и выведения абсорбирующей жидкости, обогащенной абсорбатом, из ротора в виде капель с обеспечением выталкивания капель радиально наружу относительно центральной оси вращения ротора, в направлении выпуска для отвода абсорбирующей жидкости, обогащенной абсорбатом.

2. Устройство по п.1, в котором осевая длина ротора и каналов для мокрой очистки в 100-5000 раз больше ширины поперечного сечения каналов.

3. Устройство по п.1 или 2, в котором выпуск для газа и впуск для абсорбирующей жидкости расположены выше по потоку относительно ротора, и выпуск для газа и выпуск для абсорбирующей жидкости расположены ниже по потоку относительно ротора.

4. Устройство по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащее средство сжатия, выполненное с возможностью повышения давления входящего газа.

5. Устройство по любому из предшествующих пунктов, в котором количество каналов для мокрой очистки составляет по меньшей мере 10, более предпочтительно по меньшей мере 100 и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1000.

6. Устройство по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащее коллектор абсорбирующей жидкости, расположенный выше по потоку относительно выпуска для абсорбирующей жидкости, обогащенной абсорбатом.

7. Устройство по любому из предшествующих пунктов, в котором корпус содержит первый и второй роторы, установленные с возможностью вращения в корпусе, при этом второй ротор обеспечен в осевом направлении ниже по потоку от первого ротора.

8. Устройство по п.7, содержащее первый и второй впуски для абсорбирующей жидкости, расположенные, соответственно, выше по потоку относительно первого и второго роторов.

9. Устройство по п.7 или 8, содержащее первый и второй выпуски для абсорбирующей жидкости, расположенные ниже по потоку от первого и второго роторов, соответственно.

10. Устройство по п.9, в котором по меньшей мере один из первого и второго выпусков выполнен с возможностью повторного соединения с по меньшей мере одним из первого и второго впусков для абсорбирующей жидкости.

11. Устройство по п.10, в котором второй выпуск для абсорбирующей жидкости выполнен с возможностью повторного соединения с первым впуском для абсорбирующей жидкости.

12. Устройство по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащее средство для направления потока, обеспеченное выше по потоку и/или ниже по потоку от ротора, причем необязательно расположенное выше по потоку средство направления потока служит в качестве средства для вращения ротора.

13. Устройство по п.12, в котором средство для направления потока содержит улитку, лопатку статора или импеллер, или их комбинацию.

14. Устройство по любому из предшествующих пунктов для использования на судах.

15. Устройство по любому из предшествующих пунктов, предназначенное для использования в мокрой очистке дымовых газов от SO_2 .

16. Судно, содержащее средство для мокрой очистки дымовых газов в виде ротационного абсорберного устройства по любому из предшествующих пунктов.

17. Способ для мокрой очистки газа от абсорбата с использованием ротационного абсорберного устройства по любому из предшествующих пунктов, включающий подачу газа к впуску для газа, выбор абсорбирующей жидкости по способности абсорбата растворяться в абсорбирующей жидкости, подачу непрерывного потока абсорбирующей жидкости к впуску для абсорбирующей жидкости, вращение ротора в корпусе для удерживания абсорбирующей жидкости в пределах внутренней поверхности стенки каналов для мокрой очистки и образования там пленки с обеспечением переноса молекул абсорбата из газа к абсорбирующей жидкости для, по меньшей мере, частичного отделения абсорбирующей жидкости, поданной к ротору, от газа, поданного к ротору, и обеспечением выхода из ротора капель абсорбирующей жидкости, выталкиваемых радиально наружу относительно центральной оси вращения ротора в направлении к выпуску для абсорбирующей жидкости, и выход газа через выпуск для газа и абсорбирующей жидкости, обогащенной абсорбатом, через выпуск для абсорбирующей жидкости.

18. Способ по п.17, в котором газ и абсорбирующую жидкость подают выше по потоку от ротора, и газ и абсорбирующая жидкость выходят ниже по потоку от ротора.

19. Способ по п.17 или 18, в котором входящий газ сжимают до давления в диапазоне от 1 до 20 бар (0,1-2 МПа), более предпочтительно в диапазоне от 1 до 10 бар (0,1-1,0 МПа).

20. Способ по п.18 или 19, в котором абсорбирующую жидкость собирают перед выходом через выпуск для абсорбирующей жидкости.

21. Способ по любому из пп.17-20, в котором газ и жидкость подают к первому и второму роторам, которые установлены с возможностью вращения в корпусе, при этом второй ротор обеспечен в осевом направлении ниже по потоку от первого ротора.

22. Способ по п.21, в котором абсорбирующую жидкость подают в первый и второй впуски для абсорбирующей жидкости, расположенные, соответственно, выше по потоку от первого и второго роторов.

23. Способ по п.21 или 22, в котором абсорбирующая жидкость выходит через первый и второй выпуски для абсорбирующей жидкости, расположенные, соответственно, ниже по потоку от первого и второго роторов.

24. Способ по п.23, в котором абсорбирующую жидкость, выходящую из по меньшей мере одного из первого и второго выпусков для абсорбирующей жидкости, подают обратно в по меньшей мере один из первого и второго впусков для абсорбирующей жидкости.

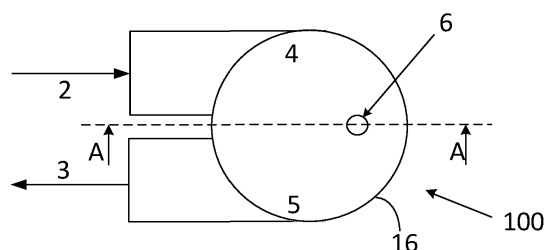
25. Способ по п.21, в котором абсорбирующую жидкость, выходящую из второго выпуска для абсорбирующей жидкости, подают обратно в первый выпуск для абсорбирующей жидкости.

26. Способ по любому из пп.17-25, в котором ротор приводят в действие направлением входящего газового потока по касательной к корпусу.

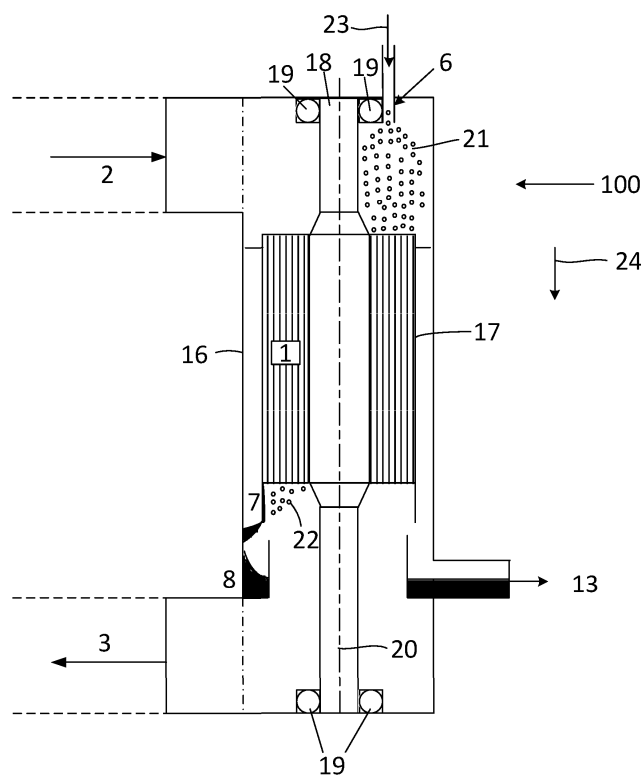
27. Способ по любому из пп.17-26, в котором гидравлический диаметр каналов для мокрой очистки и средняя осевая скорость газа выбирают так, что число Рейнольдса в каналах превышает 1800, и газ проходит через каналы для мокрой очистки в турбулентном потоке.

28. Способ по любому из пп.17-27, в котором абсорбат содержит SO_2 и газ включает дымовой газ.

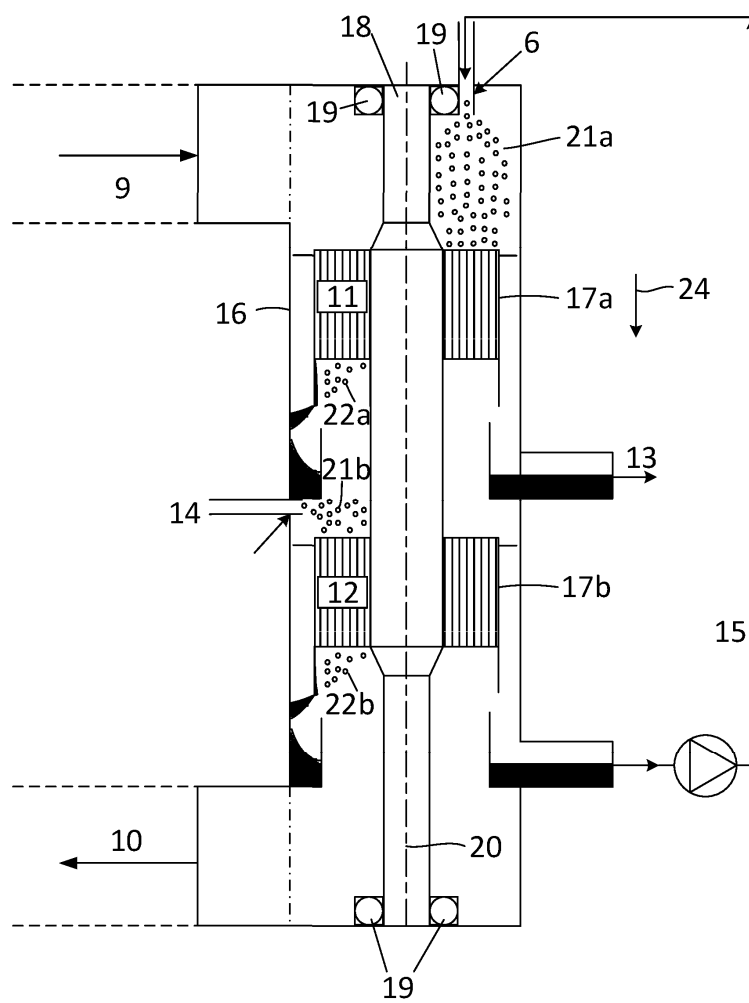
29. Способ по любому из пп.17-27, в котором абсорбат содержит метанол и газ включает метанол-содержащий газ.



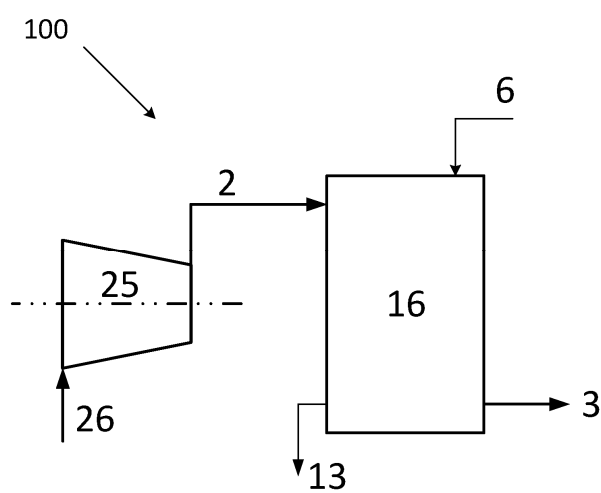
Фиг. 1А



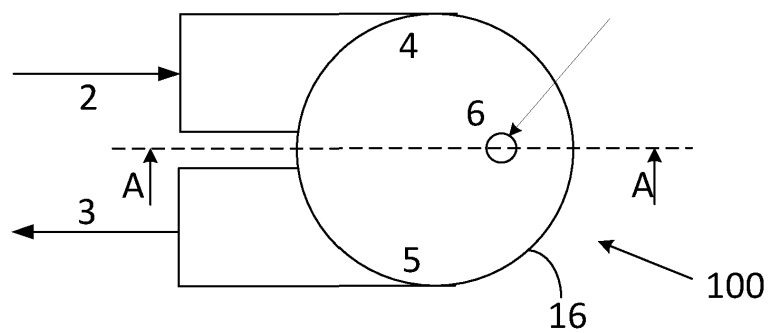
Фиг. 1В



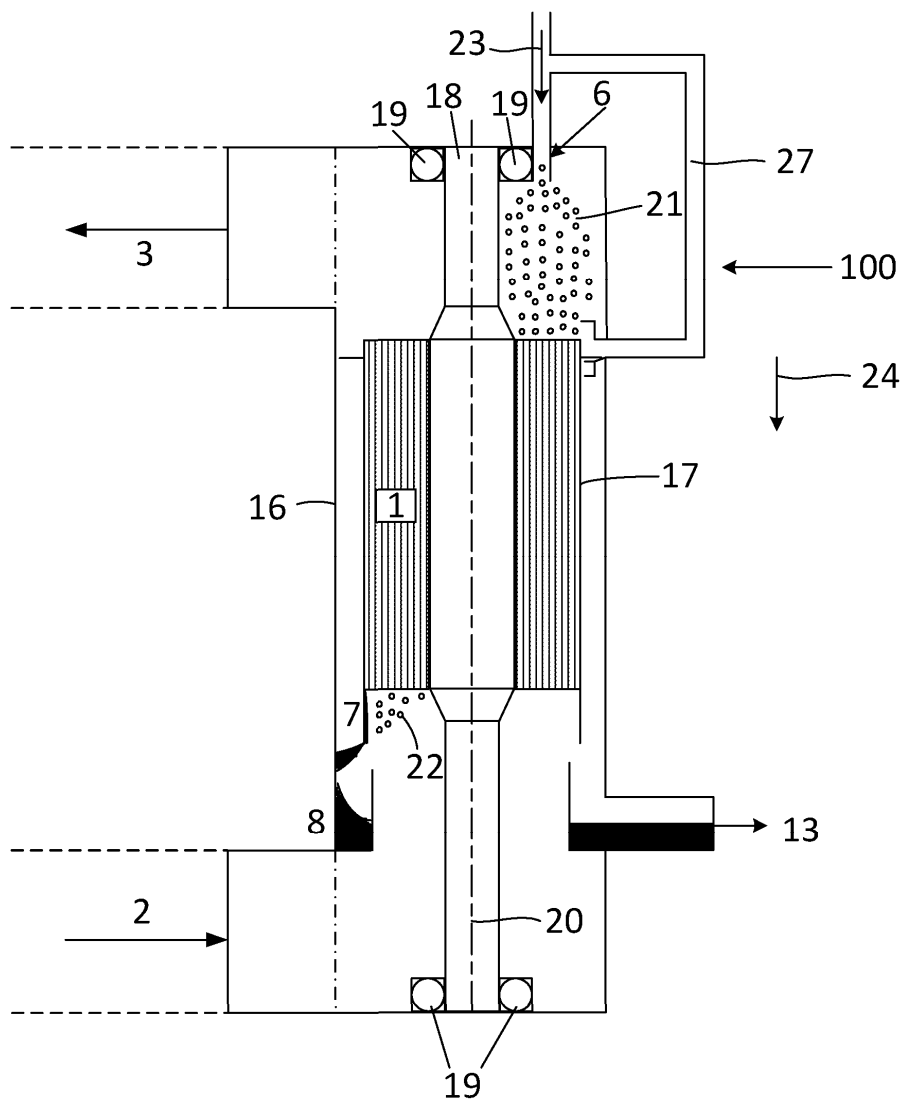
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4А



Фиг. 4В



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2