

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038253**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.07.30

(21) Номер заявки
201692275

(22) Дата подачи заявки
2015.06.04

(51) Int. Cl. **B01D 53/78** (2006.01)
B01D 53/60 (2006.01)
B01D 53/96 (2006.01)

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ-ДЕНИТРИФИКАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ГАЗА

(31) **201410245417.4**

(32) **2014.06.05**

(33) **CN**

(43) **2017.05.31**

(86) **PCT/CN2015/080761**

(87) **WO 2015/185000 2015.12.10**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и

патентовладелец:

**ВЭЙ СЮНХУЭЙ; ЦЗОУ МЕЙХУА
(CN)**

(56) **CN-A-101896247**
CN-A-101185838
CN-A-102343201
CN-A-1780678

(74) Представитель:
Угрюмов В.М. (RU)

(57) Изобретение относится к способу и установке для десульфуризации-денитрификации отработанного газа. Раствор для десульфуризации-денитрификации используется в абсорбционной колонне для абсорбции диоксида серы и/или оксидов азота из отработанного газа или различных хвостовых газов после сжигания отходов (абгазов). Раствор для десульфуризации-денитрификации с абсорбированными сернистым ангидридом и/или оксидами азота высвобождает диоксид серы и/или оксиды азота путём нагревания и/или отдувки газом, и/или регенерации под вакуумом в регенерационной колонне. Выделившиеся диоксид серы и/или оксиды азота далее концентрируют с образованием диоксида серы и/или оксидов азота с высокой степенью чистоты в концентрационной колонне. Регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации возвращают в цикл для повторного использования. Способ и установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению имеют широкий спектр применения в промышленности и могут применяться для десульфуризации и/или денитрификации отработанных газов, газов, образующихся при сжигании отходов, коксового газа, синтетических газообразных отходов предприятий по производству красителей, газообразных отходов заводов по производству химических волокон и другого промышленного газообразного сырья или абгазов, содержащих SO_x.

B1**038253****038253****B1**

Область, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к области промышленного десульфуризации-денитрификации газов и конкретно к способу и устройству для десульфуризации-денитрификации отработанного газа или различных хвостовых газов после сжигания (абгазов).

Сведения о предшествующем уровне техники

Сжигание ископаемых топлив обеспечивает получение большого количества газов, выбрасываемых в атмосферу, которые, в дополнение к диоксиду серы, триоксиду серы, хлористому водороду, фтористому водороду, оксидам азота и небольшому количеству вредных органических веществ, содержат большое количество пыли (в основном, пылеобразные частицы солей кальция, частицы солей алюминия, частицы солей магния, частицы солей титана, частицы солей, частицы солей свинца, частицы солей цинка, частицы солей кобальта, частицы редкоземельных элементов, частицы радиоактивных элементов и частицы других вредных элементов, а также минеральные частицы, такие как частицы диоксида кремния, частицы муллита, частицы силикатов и частицы фосфатов). Эти частицы выбрасываются вместе с отработанными газами в атмосферу. В то же самое время диоксид серы, триоксид серы, хлористый водород, фтористый водород, оксиды азота и вредные органические вещества, бактерии и т.п. легко адсорбируются на поверхности этих частиц, таким образом, содержание атмосферных суспендированных частиц (которые обычно обозначаются как PM100, PM10, PM2.5 и т.д.) значительно увеличивается, что приводит к появлению тумана и к фотохимическим реакциям в атмосфере и вызывает сильное загрязнение атмосферы.

В настоящее время процессы сульфуризации и денитрификации не зависят друг от друга. Обычно денитрификация сопровождается десульфуризацией.

Существующий процесс десульфуризации в основном состоит из десульфуризации при сжигании в печи соединений кальция, сухой десульфуризации и мокрой десульфуризации отходящих газов, промышленного газообразного сырья и других абгазов, содержащих серу и т.д.

Способ десульфуризации методом сжигания в печи вводимого соединения кальция представляет собой способ десульфуризации во время сжигания, согласно которому оксид или карбонат, или подобное соединение кальция или магния вводится непосредственно в печь котла для фиксации серы, или оксид или карбонат или подобное соединение кальция или магния смешивается непосредственно с углем до получения однородной смеси и подаётся в печь для сжигания для фиксации серы. Такие соединения, содержащие оксид или карбонат кальция или магния, реагируют при высокой температуре с диоксидом серы или триоксидом серы, образуя при сжигании с образованием сульфата кальция или сульфата магния, сульфит кальция или сульфит магния также образуются в то же самое время. Такой сульфит частично окисляется кислородом в отработанном газе до сульфата кальция или магния, при этом часть серы фиксируется в золе и достигается функция десульфуризации. Однако эффективность десульфуризации не высока, обычно менее 80%, а отношение Ca/S (Mg/S) намного больше 1.5, что означает большой ресурс потребления оксида или карбоната кальция или магния.

В процессе сухой десульфуризации отработанный газ проходит через сухой десульфуризатор до сообщения с атмосферой и сообщается с атмосферой после проведения десульфуризации. В сухой десульфуризатор загружают частицы твёрдого десульфуризирующего агента, который обычно является оксидом железа, оксидом цинка, оксидом марганца, оксидом кобальта, оксидом хрома, оксидом молибдена и т.п. Такой сухой десульфуризирующий агент абсорбирует диоксид серы в отработанном газе и затем образует соответствующий сульфит. Когда такой оксид теряет свою способность абсорбировать диоксид серы, он должен быть заменён новым сухим десульфуризирующим агентом. Сухой десульфуризирующий агент расходуется в большом количестве и является дорогим, в то же самое время образуется большое количество отходов, которые необходимо собирать и удалить на свалку, что приводит к серьёзному загрязнению и к вторичному загрязнению.

В случае мокрой десульфуризации применяются мокрая десульфуризация с использованием известняка, мокрая десульфуризация с использованием гидроксида кальция, десульфуризация с использованием аммиака, десульфуризация с двойной щелочной очисткой, десульфуризация с использованием аммофоса, мокрая десульфуризация с использованием магния, десульфуризация с использованием морской воды, десульфуризация на основе процесса Веллмана-Лорда, десульфуризация при помощи сульфита натрия (или калия), десульфуризация при помощи буферного раствора кислоты-соли органической кислоты и т.п.

В процессе десульфуризации с использованием известняка куски карбоната кальция из шахт измельчают при помощи крешера, размалывают до получения мелкого порошка с размером частиц более 325 меш в шаровой мельнице и затем получают суспензию, содержащую 10-15% порошкообразного карбоната кальция. В десульфуризирующей колонне суспензия карбоната кальция контактирует с отработанным газом при осуществлении противоточного контакта (или прямоточного контакта, или с применением комбинации противоточного и прямоточного контакта), и сернистый газ в составе газа реагирует с карбонатом кальция в суспензии с получением сульфита кальция, и суспензия карбоната кальция превращается в суспензию сульфита кальция. В окисляющем слое под действием воздуха в десульфуризирующей колонне сульфит кальция в суспензии окисляется до сульфата кальция, и суспензия сульфита каль-

ция превращается в суспензию сульфата кальция. Суспензия сульфата кальция вытекает из десульфидирующей колонны и поступает в сепаратор для выделения сульфата кальция из суспензии. Выделенная вода возвращается в цикл для приготовления суспензии карбоната кальция. Выделенный сульфат кальция или вывозят на свалку как отход, или используют для ремонта дорожного основания, или он может быть очищен и использован для изготовления штукатурных плит. Однако в результате осуществления способа получается большое количество твёрдого сульфата кальция, а также некоторых твёрдых отходов, таких как сульфит кальция и непрореагировавший карбонат кальция. Из-за большого потребления известняка, наличия огромных устройств для измельчения и размалывания и большого потребления энергии необходимы большие капиталовложения. Более того, во время абсорбции образуются твёрдые осадки, которые закупоривают оборудование. Сброс сточных вод также огромный и происходит сильное вторичное загрязнение. В дополнение, крошечные гидрофильные и гидрофобные частицы, содержащиеся в суспензии карбоната кальция (в основном частицы солей кальция, частицы солей алюминия, частицы солей магния, частицы солей титана, частицы солей железа, частицы солей свинца, частицы солей кобальта, частицы редкоземельных элементов, частицы радиоактивных элементов и частицы других вредных элементов, а также минеральные частицы, такие как частицы диоксида кремния, частицы муллита, частицы силикатов, частицы фосфатов и т.п.), уносятся отработанным газом и выбрасываются в атмосферу, в то время, как диоксид серы, триоксид серы, хлористый водород, фтористый водород, оксиды азота и вредные органические вещества, бактерии и т.п. легко адсорбируются на поверхности этих частиц, таким образом содержание атмосферных суспендированных частиц (которые обычно обозначаются как PM100, PM10, PM2.5 и т.д.) значительно увеличивается, что приводит к появлению тумана и к фотохимическим реакциям в атмосфере и вызывает сильное загрязнение атмосферы.

В процессе мокрой десульфуризации с применением извести для взаимодействия с водой используют кальцинированный оксид кальция, образующий водную эмульсию гидроксида кальция, из которого получается суспензия, содержащая от 10 до 15% гидроксида кальция. В десульфидирующей колонне суспензия гидроксида кальция контактирует с отработанным газом при осуществлении противоточного контакта (или прямоточного контакта, или с применением комбинации противоточного и прямоточного контакта) и диоксид серы в составе газа реагирует с гидроксидом кальция в суспензии с получением сульфита кальция, так суспензия гидроксида кальция превращается в суспензию сульфита кальция. В окисляющем слое под действием воздуха в десульфидирующей колонне сульфит кальция в суспензии окисляется до сульфата кальция, так суспензия сульфита кальция превращается в суспензию сульфата кальция. Суспензия сульфата кальция вытекает из десульфидирующей колонны и поступает в сепаратор для выделения сульфата кальция из суспензии. Выделенная вода возвращается в цикл для приготовления суспензии карбоната кальция. Выделенный сульфат кальция или вывозят на свалку как отход, или используют для ремонта дорожного основания, или он может быть очищен и использован для изготовления штукатурных плит. Однако в результате осуществления способа получается большое количество твёрдого сульфата кальция, а также некоторых твёрдых отходов, таких как сульфит кальция и непрореагировавший карбонат кальция. Из-за большого потребления известняка, наличия огромных устройств для измельчения и размалывания и большого потребления энергии необходимы большие капиталовложения. Более того, во время абсорбции образуются твёрдые осадки, которые закупоривают устройства. Сброс сточных вод также огромный и происходит сильное вторичное загрязнение. Кроме того, в процессе кальцинирования потребляется большое количество угля для получения оксида кальция, что также приводит к сильному загрязнению окружающей среды. В дополнение, крошечные гидрофильные и гидрофобные частицы, содержащиеся в суспензии карбоната кальция (в основном частицы солей кальция, частицы солей алюминия, частицы солей магния, частицы солей титана, частицы солей железа, частицы солей свинца, частицы солей кобальта, частицы редкоземельных элементов, частицы радиоактивных элементов и частицы других вредных элементов, а также минеральные частицы, такие как частицы диоксида кремния, частицы муллита, частицы силикатов, частицы фосфатов и т.п.) уносятся отработанным газом и выбрасываются в атмосферу, в то время, как диоксид серы, серный ангидрид, хлористый водород, фтористый водород, оксиды азота и вредные органические вещества, бактерии и т.п. легко адсорбируются на поверхности этих частиц, таким образом содержание атмосферных суспендированных частиц (которые обычно обозначаются как PM100, PM10, PM2.5 и т.д.) значительно увеличивается, что приводит к появлению тумана и к фотохимическим реакциям в атмосфере и вызывает сильное загрязнение атмосферы.

В процессе десульфуризации с использованием аммиака водный аммиак в определённой концентрации используется как абсорбент для абсорбции диоксида серы в отработанном газе, во время реакции образуется бисульфит аммония, который превращается в бисульфат аммония под действием окисления. Наконец, бисульфат аммония превращается в сульфат аммония под действием аммиака, а сульфат аммония выделяется в качестве побочного продукта, используемого как удобрение. Этот способ осуществляют следующим образом: в десульфидирующей колонне отработанный газ после проведения обеспыливания и теплообмена при помощи газо-газового теплообменника контактирует с водным аммиаком в противотоке или в прямотоке, или с применением комбинации противотока и прямотока, диоксид серы, в отработанном газе абсорбируется водным аммиаком и превращается в бисульфит аммония. Отработанный

ный газ после десульфуризации подвергается теплообмену при помощи газо-газового теплообменника и затем выводится через дымовую трубу в атмосферу. Полученный раствор после десульфуризации бисульфита аммония проходит через секцию принудительного окисления или отдельный узел принудительного окисления в десульфуризирующей колонне и окисляется воздухом или озоном, после чего он превращается в бисульфат аммония, затем попадает в подщелачивающее устройство, в котором он подщелачивается газообразным аммиаком или концентрированным водным раствором аммиака и превращается в сульфат аммония, который кристаллизуется в кристаллизаторе, отделяется и сушится с получением побочного продукта, сульфата аммония, используемого как удобрение. Водно-аммиачный маточник непрерывно подаётся с аммиаком для повышения концентрации аммиака при использовании для возврата в цикл. Способ десульфуризации аммиака является высокоэффективным, а объём циркулирующего раствора является небольшим. Однако аммиак является очень токсичным, очень летучим и имеет низкую температуру кипения, всё эти характеристики аммиака, захваченного отработанным газом, являются нежелательными, приводят к большой потере аммиака и вторичному загрязнению атмосферным аммиаком. В то же самое время расход аммиака в способе десульфуризации аммиака очень велик, аммиак превращается в сульфат аммония, имеющий небольшую ценность, поэтому стоимость такой десульфуризации высока, может возникать кристаллизация, закупорка оборудования и трубопроводов. Более того, аммиак является очень коррозионным, поэтому возникает сильная коррозия оборудования, процесс получения аммиака является одним из процессов с высоким энергопотреблением и сильным загрязнением окружающей среды, избыточное потребление аммиака действительно увеличивает загрязнение окружающей среды и косвенно увеличивает потребление энергии, следовательно, применение аммиака должно быть сведено к минимуму.

В процессе десульфуризации с двойной щелочной очисткой в десульфуризирующей колонне, для абсорбции диоксида серы из отработанного газа используются водные растворы солей щелочных металлов, которые сильно растворяются в воде, такие как NaOH , Na_2CO_3 , Na_2SO_3 или т.п., в процессе реакции образуются растворимые в воде бисульфит натрия или бисульфит щелочного металла. Очищенный отработанный газ выводят через трубу в атмосферу. Водный раствор бисульфита натрия или бисульфита щелочного металла подают в реактор для извести для нейтрализации реакции с CaO или CaCO_3 , во время которой одновременно проводится окисление воздухом с получением осадков сульфата кальция, которые выделяются для получения штукатурного гипса. Раствор в свою очередь превращается в водный раствор соединения щелочного металла, которое хорошо растворяется в воде, такой как NaOH , Na_2CO_3 или т.п., для повторного использования. Цель процесса десульфуризации с двойной щелочной очисткой заключается в том, чтобы избежать проблемы закупорки осадками в способе с использованием чистого известняка (или извести), однако, по существу это способ, который использует известняк (или известь) в качестве десульфуризирующего агента. При осуществлении способа десульфуризации с использованием фосфата аммония, являющегося удобрением (PAFP), природная фосфоритная руда и аммиак используются в виде сырых продуктов, удобрение, фосфат аммония, получается непосредственно в процессе десульфуризации отработанного газа. Способ в основном состоит из типовых стадий, таких как адсорбция, экстракция, нейтрализация, абсорбция, окисление, концентрирование и осушка. При адсорбции используется активированный уголь как адсорбционное средство на первой стадии десульфуризации для осуществления адсорбции SO_2 в отработанном газе. В присутствии кислорода SO_2 каталитически окисляется до SO_3 . Когда адсорбционная способность активированного угля близка к насыщению, при промывке и регенерации активированного угля получается разбавленная серная кислота с концентрацией более 30%. Регенерированный активированный уголь используется повторно. При получении фосфорной кислоты путём экстракции фосфоритовой руды разбавленная серная кислота, полученная путём десульфуризации на первой стадии, взаимодействует с порошкообразной фосфоритовой рудой ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), при этом образуется фтористый водород, фосфорная кислота и сульфат кальция. Фосфорная кислота может быть получена после экстракции и фильтрации со скоростью экстракции фосфоритовой руды более 90% и концентрацией разбавленной фосфорной кислоты более 10-14%. При нейтрализации аммиак реагирует с фосфорной кислотой, полученной путём экстракции, с получением диаммония гидрогенфосфата, который используется в качестве десульфуризирующего агента на второй стадии. При десульфуризации в колонне второй стадии диаммоний гидрогенфосфат абсорбирует SO_2 с образованием диаммония гидрогенсульфита и диаммония гидрогенфосфата. При окислении диаммоний гидрогенсульфит в растворе окисляется до сульфата аммония, и окисленный раствор подвергается концентрированию и осушке с получением соединения, являющегося удобрением, твёрдого аммония дигидрогенфосфата и сульфата аммония. Это способ является очень сложным, с большими капиталовложениями, с большим потреблением пара и с высоким энергопотреблением. В то же самое время требуется большое количество природной фосфоритовой руды. Следовательно, не везде можно использовать эти технологию и способ, они могут применяться только там, где природные фосфоритовые руды являются доступными.

В случае мокрой десульфуризации с использованием магнезии в десульфуризирующей колонне суспензия оксида магнезии или гидроксида магнезии контактирует с отработанным газом при осуществлении противоточного контакта (или прямоточного контакта, или с применением комбинации противоточного и прямоточного контакта), диоксид серы в составе газа реагирует с оксидом магнезии или гидроксидом маг-

ния в суспензии с получением сульфита магния, при этом суспензия оксида магния или гидроксида магния превращается в суспензию сульфита магния. Суспензия сульфита магния осаждается и поступает в сепаратор для выделения сульфита магния из суспензии. Отделённая вода возвращается в цикл для получения суспензии оксида магния или гидроксида магния. Выделенный сульфит магния кальцинируют при температуре выше 1235 K (961.8°C) для получения оксида магния и газообразного диоксида серы. Полученный оксид магния используется повторно, а диоксид серы может быть возвращён в цикл. Однако твёрдый сульфит магния, полученный согласно этому способу, имеет тенденцию закупоривать трубопроводы и оборудование, и сульфит магния не разлагается, до тех пор, пока его не кальцинируют при температуре выше 1235 K, потребление энергии является высоким, требуются большие капиталовложения и происходит вторичное загрязнение. В то же время крошечные гидрофильные и гидрофобные частицы, содержащиеся в суспензии оксида магния или гидроксида магния (в основном частицы солей кальция, частицы солей алюминия, частицы солей магния, частицы солей титана, частицы солей железа, частицы солей свинца, частицы солей кобальта, частицы редкоземельных элементов, частицы радиоактивных элементов и частицы других вредных элементов, а также минеральные частицы, такие как частицы диоксида кремния, частицы муллита, частицы силикатов, частицы фосфатов и т.п.) уносятся отработанным газом и выбрасываются в атмосферу, в то время, как диоксид серы, серный ангидрид, хлористый водород, фтористый водород, оксиды азота и вредные органические вещества, бактерии и т.п. легко адсорбируются на поверхности этих частиц, таким образом содержание атмосферных суспендированных частиц (которые обычно обозначаются как PM100, PM10, PM2.5 и т.д.) значительно увеличивается, что приводит к появлению тумана и к фотохимическим реакциям в атмосфере и вызывает сильное загрязнение окружающей среды.

В процессе десульфуризации морской водой используются большие количества солей кальция, магния, алюминия, натрия, калия и других ионов, особенно карбонатов, которые имеют высокую основность. Такой способ прямого абсорбирования диоксида серы в отработанном газе морской водой и представляет собой процесс десульфуризации с использованием морской воды, и этот процесс является очень простым. В процессе десульфуризации морская вода в десульфуризирующей колонне находится в прямом контакте с отработанным газом и абсорбирует диоксид серы в отработанном газе. Щелочные вещества в морской воде (особенно карбонаты; иногда оксид кальция или гидроксид кальция добавляются специально в морскую воду для того, чтобы повысить её основность) реагируют с сернистым ангидридом с получением сульфитов. Морская вода с адсорбированным в ней сернистым ангидридом подвергается воздействию солнца и окислению, при этом сульфиты окисляются до сульфатов и затем выгружаются прямо в море. Эта технология и способ могут применяться только на побережье, потому, что потребление морской воды достаточно велико. Из-за большого количества сульфата, выгружаемого в море, море загрязняется в той или иной степени.

Способ десульфуризации с применением сульфита натрия (или калия) похож на способ мокрой десульфуризации с использованием магния, при этом в десульфуризирующей колонне водный раствор сульфита натрия (или калия) контактирует с отработанным газом при осуществлении противоточного контакта (или прямоточного контакта, или при использовании комбинации противоточного и прямоточного контакта), и диоксид серы в составе газа реагирует с сульфитом натрия (или калия) в растворе с образованием бисульфита натрия (или калия), так раствор сульфита натрия (или калия) превращается в раствор бисульфита натрия (или калия). Раствор сульфита натрия (или калия) поступает в регенератор, нагреваемый паром, для регенерации, и раствор бисульфита натрия (или калия) превращается в водный раствор сульфита натрия (или калия), и в то же самое время выделяется серный ангидрид. Водный раствор сульфита натрия (или калия) возвращается в цикл для использования, а диоксид серы может быть выделен в качестве побочного продукта. Концепция этого процесса является хорошей, однако, практические тесты показывают, что скорость регенерации раствора бисульфита натрия (или калия) во время нагревания паром является очень низкой, только очень небольшая часть бисульфита натрия (или калия) может быть превращена в сульфит натрия (или калия), большая часть бисульфита натрия (или калия) не может разлагаться, и потребление пара велико. Следовательно, этот способ нельзя применять в промышленности.

Десульфуризация на основе процесса Веллмана-Лорда в действительности представляет собой усовершенствованный процесс циркуляции сульфита натрия, но с добавленной стадией мультиэффектного выпаривания для выпаривания раствора от десульфуризации и кристаллизации сульфита натрия. Этот способ в больших масштабах применяется в Соединённых Штатах, Германии, Франции и Японии, но потребление пара и потребление энергии очень высоки.

При осуществлении способа десульфуризации с использованием буферного раствора органической кислоты-соли органической кислоты буферный раствор, включающий органическую кислоту и соль органической кислоты применяется в качестве раствора для десульфуризации. В десульфуризирующей колонне раствор для десульфуризации контактирует с отработанным газом при осуществлении противоточного контакта (или прямоточного контакта, или при использовании комбинации противоточного и прямоточного контакта), и диоксид серы в составе газа реагирует с солью органической кислоты в растворе с образованием бисульфита и органической кислоты. Раствор поступает в регенератор.

Нагреваемый паром для регенерации сульфит в растворе превращается в соль органической кисло-

ты, и раствор всё ещё превращается в буферный раствор органической кислоты-соли органической кислоты, используемый повторно. В то же самое время выделяется диоксид серы и газообразный диоксид серы может быть выделен как побочный продукт. Концепция этого процесса является хорошей, однако, практические тесты показывают, что скорость регенерации сульфита в буферном растворе органической кислоты-соли органической кислоты во время нагрева паром является очень низкой, только очень небольшая часть сульфита может быть превращена в соль органической кислоты, большая часть сульфита не может быть разложена, потребление пара также является высоким. Следовательно, этот способ нельзя использовать в промышленных масштабах. На основе этого процесса было сделано предложение, чтобы оксид кальция (или гидроксид кальция) добавлялся к буферному раствору органической кислоты-соли органической кислоты, чтобы нерегенерированный сульфит натрия превращался в сульфит кальция, осаждался и отделялся, таким образом, этот раствор регенерируется полностью. Регенерированный буферный раствор органической кислоты-соли органической кислоты возвращается в цикл для использования, но настоящим десульфуризирующим агентом всё ещё является оксид кальция (или гидроксид кальция). Поскольку этот раствор содержит некоторые ионы кальция, в процессе десульфуризации может происходить осаждение, закупорка трубопроводов и оборудования.

В настоящее время процесс денитрификации, используемый в производстве, представляет собой процесс каталитической денитрификации с использованием аммиака.

В процессе каталитической денитрификации при помощи аммиака аммиак непосредственно подают в отработанный газ при температуре примерно 150°C-500°C в присутствии катализатора. В слое катализатора газообразный аммиак реагирует с NO_x с образованием N_2 и H_2O , при этом NO_x израсходуется. В этом способе расходуется большое количество аммиака, и поскольку отработанный газ содержит примерно 4-9% O_2 , взаимодействие газообразного аммиака с O_2 приведёт к образованию NO_x с израсходованием аммиака, и реакция аммиака не завершается, некоторое количество аммиака выбрасывается в атмосферу с отработанным газом, увеличивая потерю аммиака и вызывая вторичное загрязнение окружающей среды. При получении аммиака потребляется большое количество ископаемых топлив, при этом образуется большое количество отходящего газа, ненужных отходов и сточной воды. Этот способ связан с серьёзным загрязнением окружающей среды, поэтому использование аммиака должно быть сведено к минимуму.

Раскрытие изобретения

Нами разработаны патентные технологии, описанные, например, в следующих патентных публикациях: патент № ZL 2009100090 58.1: "Method for removing SO_x from gas using polyethylene glycol", патент № ZL200710110446.X: "Method for removing SO_x from flue gas using ethylene glycol", заявка на патент № 201310409296.8: "Method for removing SO_x from gas using modified polyethylene glycol", заявка на патент № 201310481557.7: "Method for removing SO_x from gas using composite alcohol amine solution", заявка на патент № 201310682799.2: "Method for removing SO_x from gas using ethylene glycol composite solution", заявка на патент № 201310682382.6: "Method for removing SO_x from gas using polyol composite solution" и т.п. Для более успешного крупномасштабного промышленного применения вышеуказанных технологий мы создали способ и установку для десульфуризации-денитрификации отработанного газа, которые адаптированы к этим патентным технологиям (именуемым в дальнейшем "наши патентные технологии").

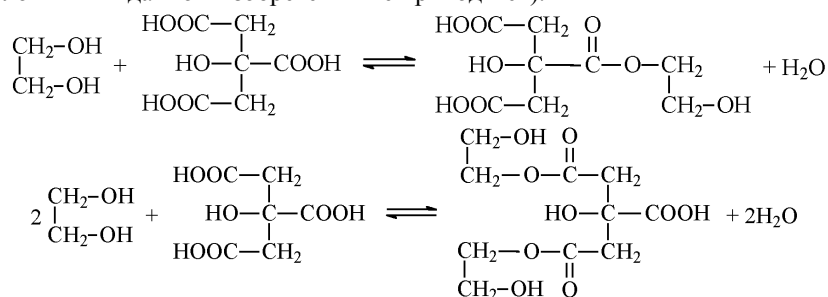
Согласно настоящему изобретению раствор для десульфуризации-денитрификации, применяемый в способе и в установке для десульфуризации-денитрификации отработанного газа, представляет собой смешанный раствор, содержащий полиол (и/или содержащий полимерный полиол). Композиции, содержание и характеристики этих растворов для десульфуризации-денитрификации приведены в описании наших патентных технологий и в данном изобретении повторно не излагаются. Для того чтобы раствор для десульфуризации-денитрификации обладал высокой способностью к абсорбции серы, денитрификации и десорбции, в раствор для десульфуризации-денитрификации, содержащий полиол (и/или содержащий полимерный полиол), можно добавлять соответствующие добавки. Природа, композиции, содержание и характеристики добавок к раствору для десульфуризации-денитрификации также описаны в наших патентных технологиях и в данном изобретении повторно не излагаются.

Способ и установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа позволяют одновременно осуществлять десульфуризацию и денитрификацию. Сущность десульфуризации описана в наших патентных технологиях и в данном изобретении повторно не излагается. Ниже в данном изобретении описывается только сущность денитрификации.

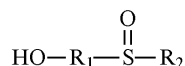
Денитрификация означает главным образом удаление оксидов азота NO_x из отработанного газа (x обозначает число атомов кислорода) (оксиды азота включают NO_2 , NO , N_2O и т.д., более 90% отработанного газа составляет NO). Раствор для десульфуризации-денитрификации состоит из EG (этиленгликоля) и/или PEG (полиэтиленгликоля), воды, поликарбоновой кислоты и/или соли поликарбоновой кислоты и добавок.

Для того чтобы более чётко представить основные положения настоящего изобретения, даётся объяснение механизма этерификации и денитрификации раствора для десульфуризации-денитрификации по настоящему изобретению на примере этиленгликоля, лимонной кислоты и их солей и веществ, содержащих сульфоновую группу. Однако раствор для десульфуризации-денитрификации по настоящему изобретению

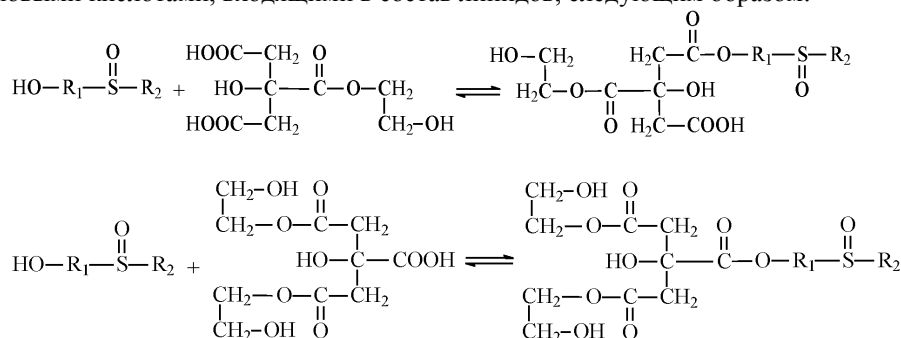
бренению содержит не только этиленгликоль, лимонную кислоту и её соли, и вещества, содержащие сульфоновые и/или сульфоксидные группы. Правильнее сказать, что раствор для десульфуризации-денитрификации по настоящему изобретению содержит этиленгликоль, и/или полиэтиленгликоль, органическую кислоту и/или соли органической кислоты и добавки (примеры которых перечислены в наших патентных технологиях и в данном изобретении не приводятся).



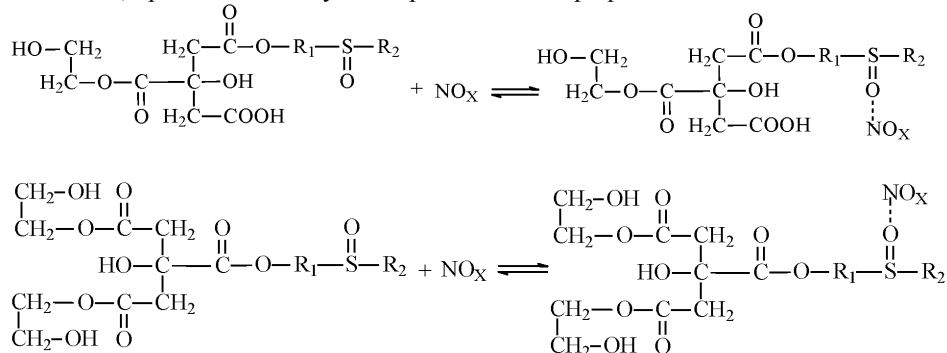
Формула



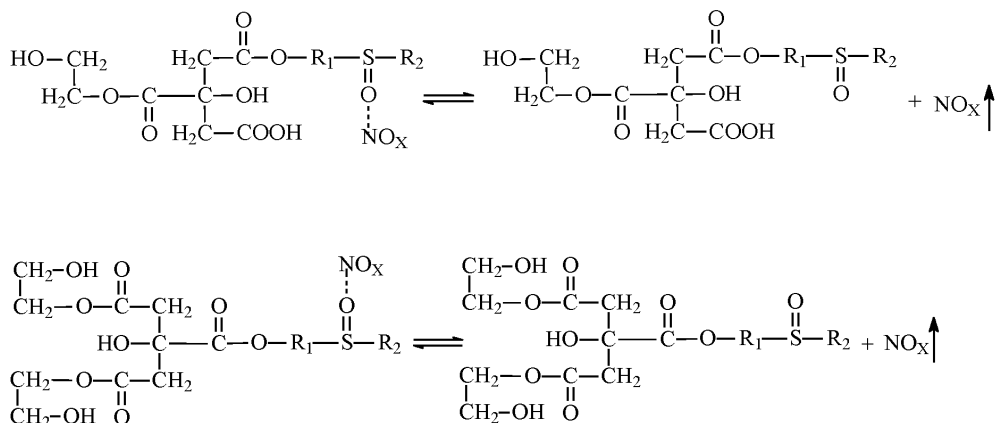
является формулой вещества, содержащего сульфоксидную группу. Такое вещество взаимодействует с карбоновыми кислотами, входящими в состав липидов, следующим образом:



Когда раствор для десульфуризации-денитрификации контактирует с отработанным газом в абсорбционной колонне, происходят следующие реакции денитрификации:



Раствор для десульфуризации-денитрификации с абсорбированным NO_x поступает в регенерационную колонну, где происходит следующая реакция десорбции:



Раствор для десульфуризации-денитрификации после регенерации возвращается в цикл для дальнейшего использования.

Ранее мы подавали заявки на патент: заявка № 201310409296.8: "Method for removing SOx from gas using modified polyethylene glycol", заявка № 201310481557.7: "Method for removing SOx from gas using composite alcohol amine solution", заявка № 201310682799.2: "Method for removing SOx from gas using ethylene glycol composite solution", заявка № 201310682382.6: "Method for removing SOx from gas using polyol composite solution" и т.п., заявленный в которых раствор для десульфуризации обладал не только способностью удалять из газа диоксид серы, но также и способностью абсорбировать оксиды азота, содержащиеся в газе. В частности, при введении небольшого количества добавок, содержащих сульфоксидную и/или сульфоновую группу (например, таких как DMSO и/или сульфолан или их гидроксил- и/или карбоксилзамещенные), способность такого раствора абсорбировать оксиды азота значительно повышается.

Способ десульфуризации-денитрификации отработанных газов по настоящему изобретению включает следующие основные процессы: рекуперацию остаточного тепла, десульфуризацию-денитрификацию, регенерацию раствора для десульфуризации-денитрификации и концентрирование диоксида серы и NO_x.

1) Процесс рекуперации, или утилизации, остаточного тепла: температуру отработанного газа понижают до температуры ниже 50°C путём теплообмена и осуществляют рекуперацию остаточного тепла.

Что касается этого пункта, обычная температура выходящих газов составляет от 130 до 170°C, и очень велико количество выходящего отработанного газа, несущего значительный избыток явного тепла и скрытого тепла (тепла, содержащегося в водяном паре и в отработанном газе). Процесс охлаждения отработанного газа с температуры 130-170°C до температуры ниже 50°C и осуществление рекуперации этого тепла называется способом рекуперации остаточного тепла. Способ рекуперации остаточного тепла обычно включает утилизацию тепла с использованием косвенного теплообмена, утилизацию тепла с использованием прямого теплообмена, а также утилизацию тепла с одновременным использованием косвенного и прямого теплообмена. Согласно способу рекуперации тепла с использованием косвенного теплообмена в трубчатом теплообменнике горячий отработанный газ движется вдоль одной стенки теплообменника, жидкий теплоноситель движется вдоль другой стенки теплообменника, отработанный газ не контактирует с теплоносителем, теплоноситель охлаждает отработанный газ за счёт теплопроводности через поверхность стенки опосредованно, в то время как температура теплоносителя повышается. Согласно способу прямого теплообмена жидкий теплоноситель в теплообменнике прямого нагрева находится в непосредственном контакте с отработанным газом (осуществляется либо противоточный контакт, либо прямоточный контакт), отработанный газ охлаждается, в то время как температура теплоносителя повышается. Согласно способу рекуперации остаточного тепла с одновременным использованием косвенного и прямого теплообмена осуществляется как рекуперация методом прямого теплообмена, так и рекуперация методом косвенного теплообмена. Согласно способу рекуперации с использованием прямого теплообмена теплоноситель по данному описанию представляет собой жидкость, предпочтительно, высококипящую, слаболетучую, не смешивающуюся с водой жидкость, например, такую как силиконовое масло, парафиновое масло, насыщенное абсорбционное масло и т.п. Согласно способу рекуперации с использованием косвенного теплообмена теплоноситель по данному описанию может представлять собой либо жидкость, либо газ. Высокотемпературный теплоноситель, нагретый за счёт тепла, полученного от отработанного газа, можно применять в качестве источника тепла для нагревания добавочной воды в бойлере или можно использовать в любых других местах, где требуется нагревание. Ввиду высокой стоимости установки для рекуперации методом косвенного теплообмена для рекуперации остаточного тепла, предпочтительно, применяются способ рекуперации с использованием прямого теплообмена и способ рекуперации с одновременным использованием прямого и косвенного теплообмена.

2) Способ десульфуризации-денитрификации: в абсорбционной колонне диоксид серы и/или оксиды азота в отработанном газе или в различных хвостовых (уходящих) газах абсорбируется раствором для десульфуризации-денитрификации, причём указанный раствор для десульфуризации представляет собой смешанный раствор, содержащий полиол и/или полимерный полиол. В абсорбционной колонне отработанный газ с температурой ниже 50°C непосредственно контактирует с раствором для десульфуризации-денитрификации (обычно называемым "регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации"), и диоксид серы в отработанном газе абсорбируется регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации, тогда как оксиды азота и диоксид углерода в отработанном газе могут абсорбироваться регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации частично, и после этого регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации превращается в "насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации". Насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации выходит из абсорбционной колонны и поступает на стадию регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации. После очистки посредством десульфуризации-денитрификации отработанный газ (лучше, чтобы его температура была на 5°C выше температуры окружающей среды) выпускается через трубу в атмосферу. Сущность абсорбции диоксида серы раствором для десульфуризации-денитрификации в способе десульфуризации-денитрификации довольно подробно описана в наших патентных технологиях и в данном изобретении не приводится.

3) Способ регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации: в регенерационной колонне насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации с абсорбированными диоксидом серы и/или оксидами азота высвобождает диоксид серы и/или оксиды азота в результате нагревания и/или отдувки газом и/или вакуумной регенерации, и после регенерации раствор для десульфуризации-денитрификации вновь возвращаются в цикл.

Насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации, полученный в результате десульфуризации-денитрификации, имеет пониженную температуру, и в результате косвенного теплообмена (обычно в трубчатом теплообменнике) с регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации, вытекающим из нижней части регенерационной колонны, он снова нагревается до температуры выше 90°C, а затем поступает в верхнюю часть регенерационной колонны. В регенерационной колонне насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации контактирует с горячим газом для отдувки (газ для отдувки может представлять собой инертный газ, например, такой как азот, аргон, водяной пар и т.п., с температурой выше температуры насыщенного водяного пара, соответствующей давлению в регенерационной колонне), идущим снизу, по принципу противотока. Диоксид серы, оксиды азота, диоксид углерода и т.п., растворённые в насыщенном растворе для десульфуризации-денитрификации, десорбируются и смешиваются с газом для отдувки с образованием смешанного газа, который выходит из верхней части регенерационной колонны и направляется на концентрирование. Насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации после регенерации становится регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации, вытекает из нижней части регенерационной колонны и в результате теплообмена охлаждается до температуры ниже 50°C, а затем направляется в процесс десульфуризации-денитрификации для повторного использования в цикле. Так как для регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации применяются методы нагревания и отдувки газом, то регенерационная колонна называется отдувочной колонной регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации с нагревом (или регенератором раствора для десульфуризации-денитрификации), которая представляет собой бинарный регенератор. С целью повышения эффекта регенерации используют вакуумный насос для вакуумирования с тем, чтобы в колонне регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации был определённый вакуум; так как в колонне применяются три способа регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации, а именно, отдувка газом, нагревание и вакуум, то колонна называется вакуумной отдувочной колонной регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации с нагревом (или регенератором раствора для десульфуризации-денитрификации), которая является регенератором тройного действия. В свою очередь, для дальнейшего повышения эффекта регенерации в колонне регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации (или в регенераторе раствора для десульфуризации-денитрификации) можно установить ультразвуковую регенерационную систему и/или микроволновую регенерационную систему и/или радиационную регенерационную систему, получая составную колонну регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации (или регенератор раствора для десульфуризации-денитрификации), включающую отдувку газом, нагревание, вакуум и ультразвуковое и/или микроволновое и/или радиационное воздействие, и являющуюся составным регенератором.

4) Способ концентрирования диоксида серы и/или оксидов азота: в концентрационной колонне высвобожденные диоксид серы и/или оксиды азота концентрируются с образованием газообразного (или жидкого) диоксида серы, и/или газообразных оксидов азота повышенной чистоты.

Смешанный газ, высвобожденный в процессе регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации, поступает из средней секции концентрационной башни, контактирует с конденсатом из верхней части конденсационной колонны по принципу противотока, при этом водяной пар в смешанном газе конденсируется. Смешанный газ после удаления водяного пара выходит из верхней части концентрационной колонны, основным компонентом газа является диоксид серы, другими компонентами являются, например, оксиды азота, диоксид углерода и т.п., причём диоксид серы можно далее подвергать сжатию, охлаждать и получать чистый жидкий диоксид серы или восстанавливать до серы с применением кокса, или превращать в серную кислоту; оксиды азота можно также восстанавливать до азота или использовать в качестве исходных материалов для получения азотной кислоты; остальной газ можно вернуть в процесс десульфуризации-денитрификации для использования, а затем выпустить. Водяной пар поступает в нижнюю часть концентрационной колонны, контактирует с конденсатом по принципу противотока. Остаточное количество диоксида серы, оксидов азота и других вредных ингредиентов в конденсате экстрагируют водяным паром, тем самым достигается цель-концентрирование газообразных диоксида серы и оксидов азота. Одновременно из конденсата удаляются вредные диоксид серы, оксиды азота и другие ингредиенты. Конденсат перегоняют, получают дистиллированную воду, которая выходит из нижней части концентрационной колонны и пускается в оборот в качестве воды для питания бойлеров.

Соответствующие важнейшие устройства в способе и в установке для десульфуризации-денитрификации по настоящему изобретению включают: колонну рекуперации остаточного тепла (или рекуператор остаточного тепла), абсорбционную колонну, регенерационную колонну и концентрационную колонну, где

колонна для рекуперации остаточного тепла: применяется для осуществления теплообмена между отработанным газом и теплоносителем, снижения температуры отработанного газа ниже 50°C и осуществления рекуперации остаточного тепла;

абсорбционная колонна: применяется для осуществления непосредственного контакта охлаждённого отработанного газа с раствором для десульфуризации-денитрификации, в результате чего раствор для десульфуризации-денитрификации абсорбирует диоксид серы и/или оксиды азота в отработанном газе и превращается в насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации, а затем выводится из абсорбционной колонны. Указанный раствор для десульфуризации-денитрификации представляет собой смешанный раствор, содержащий полиол и/или полимерный полиол;

регенерационная колонна: применяется для десорбции диоксида серы и/или оксидов азота из концентрированного раствора для десульфуризации-денитрификации, который в свою очередь превращается в регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации в результате нагревания и/или отдувки газом и/или вакуумной регенерации. Регенерированный раствор для десульфуризации/денитрификации, полученный в результате регенерации, возвращается обратно в абсорбционную колонну для повторного использования;

концентрационная колонна: применяется для удаления, посредством конденсации водяного пара из смешанного газа, содержащего диоксид серы и/или оксиды азота, которые высвобождаются при регенерации насыщенного раствора для десульфуризации-денитрификации в регенерационной колонне, вследствие чего диоксид серы и/или оксиды азота конденсируются в газообразный или жидкий продукт, диоксид серы и/или оксиды азота повышенной степени чистоты.

Также может предусматриваться указанная колонна для рекуперации остаточного тепла, снабжённая внутри одним или более циркуляционных насосов для повышения объёма подаваемого теплоносителя. Также может предусматриваться абсорбционная колонна, снабжённая внутри одним или более циркуляционных насосов для десульфуризации-денитрификации для повышения объёма подаваемого раствора для десульфуризации-денитрификации.

Предпочтительно, теплообменник помещается между абсорбционной колонной и регенерационной колонной, и в теплообменнике происходит косвенный теплообмен между насыщенным раствором для десульфуризации-денитрификации из абсорбционной колонны и регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации, выходящим из регенерационной колонны.

Согласно конкретному варианту осуществления настоящего изобретения указанные способы и устройства для десульфуризации-денитрификации, регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации и концентрации диоксида серы и/или оксидов азота в способе и в установке для десульфуризации-денитрификации отработанного газа представлены на фиг. 1.

Способ и устройства для рекуперации остаточного тепла в способе и в установке для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению, предпочтительно, делятся на две группы, как показано на фиг. 2 и фиг. 3, соответственно.

По сравнению с традиционным способом мокрой десульфуризации (например, таким как способ десульфуризации с использованием соединений кальция, способ десульфуризации с использованием аммиака и т.п.) способ по настоящему изобретению имеет следующие преимущества: (1) когда традиционные способы мокрой десульфуризации применяются для десульфуризации отработанного газа, побочными продуктами являются сульфат кальция и сульфит кальция, или сульфат аммония и сульфит аммония, тогда как побочным продуктом в способе и в установке десульфуризации-денитрификации по настоящему изобретению является диоксид серы высокой степени чистоты, такой побочный продукт представляет собой важное химическое сырьё и имеет широкий спрос на рынке и большую сферу применения; (2) агентом для десульфуризации, применяемый в традиционном способе мокрой десульфуризации (например, таком как способ десульфуризации с использованием соединений кальция, способ десульфуризации с использованием аммиака и т.п.) является карбонат кальция, оксид кальция и/или аммиак; при использовании в качестве агента для десульфуризации карбоната кальция требуется большой расход карбоната кальция, тогда как разработка месторождений карбоната кальция наносит серьёзный вред экологии, вызывая утечку воды и эрозию почвы, оползни и уничтожение окружающей среды; когда в качестве агента для десульфуризации используют оксид кальция, расходуется большое количество оксида кальция, при этом оксид кальция получают кальцинированием карбоната кальция в присутствии угля, также требуется добыча карбоната кальция в больших масштабах, потребляется большое количество угля, что приводит к опасному вторичному загрязнению, утечке воды и эрозии почвы, оползням и уничтожению окружающей среды; если в качестве агента для десульфуризации применяют аммиак, то сам по себе процесс получения аммиака является процессом опасным, высокотоксичным и энергозатратным, огнеопасным и взрывоопасным. Аммиак является также летучим веществом, большое количество аммиака уносится отработанным газом в окружающую среду, вызывая опасное явление вторичного загрязнения. Агенты для десульфуризации-денитрификации отработанного газа в способе и в установке для десульфуризации-денитрификации по настоящему изобретению представляют собой органические растворители на основе сложных эфиров полиолов и поликислот с высокой температурой кипения, нетоксичные, безвредные и в высшей степени безопасные, которые можно полностью использовать повторно,

не расходуя карбонат кальция и/или оксид кальция и/или аммиак, и не вызывая вторичного загрязнения; (3) в традиционном способе мокрой десульфуризации (например, в способе десульфуризации с использованием соединений кальция) применяется большое количество минералов, карбоната кальция или оксида кальция, микроскопические гидрофильные и негидрофильные частицы, содержащиеся в густой суспензии (главным образом частицы солей кальция, частицы солей алюминия, частицы солей магния, частицы солей титана, частицы солей железа, частицы солей свинца, частицы солей цинка, частицы солей кобальта, частицы солей редкоземельных металлов, частицы радиоактивных элементов и частицы других вредных элементов, частицы минералов, например, частицы оксида кремния, частицы муллита, частицы силикатов и частицы фосфатов и т.п.) уносятся в атмосферу вместе с отработанным газом, в то время как диоксид серы, триоксид серы, хлористый водород, фтористый водород, оксиды азота, вредные органические вещества, бактерии и т.п. легко абсорбируются на поверхности этих частиц, по этой причине содержание взвешенных частиц в атмосфере (которое обычно обозначается как PM100, PM10, PM2.5 и т.д.) значительно возрастает, что вызывает такое явление, как туман, и фотохимические реакции в атмосфере и приводит к опасному загрязнению окружающей среды. Способ и установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению применяется для десульфуризации-денитрификации отработанных газов или отходящих газов, при этом никаких подобных явлений не наблюдается. Широкое применение способа по настоящему изобретению поможет избежать явления тумана и фотохимических реакций в атмосфере; (4) традиционный способ мокрой десульфуризации требует больших эксплуатационных затрат и не может дать экономических выгод; эксплуатационные затраты в способе и установке для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению являются низкими, а эффективность десульфуризации-денитрификации является высокой, в то же время отходы производства превращаются в ценное химическое сырьё, принося более значительные экономические, социальные и экологические выгоды; (5) в традиционном способе мокрой десульфуризации в процессах десульфуризации и регенерации получают нерастворимые осадки солей кальция или аммония, которые засоряют устройства и трубопроводы, в то время как способ и установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению не дают нерастворимых осадков солей кальция или аммония; (6) традиционный способ мокрой десульфуризации применим только для десульфуризации газов с низким содержанием серы, тогда как способ и установку для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению можно применять для десульфуризации-денитрификации как газов с низким содержанием серы, так и газов с высоким содержанием серы. В то же время способ и установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению обеспечивают высокую степень очистки, общее содержание серы в газах можно уверенно уменьшать ниже 50 мг/м^3 , раствор имеет высокую температуру кипения, потери меньше, отношение газ-жидкость при десульфуризации-денитрификации велико, расход энергии низкий, при этом стоимость эксплуатации низкая, процесс короткий, капитальных вложений меньше и стадия простая.

Способ и установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа по настоящему изобретению имеют широкий спектр применения в промышленности и могут применяться для одновременного удаления диоксида серы и оксидов азота из газа, или могут применяться для удаления из газа одного диоксида серы, или могут применяться для удаления из газа лишь оксидов азота. Их можно применять для десульфуризации-денитрификации отработанных газов, газов, образующихся при сжигании отходов, коксового газа, синтетических газообразных отходов предприятий по производству красителей, газообразных отходов заводов по производству химических волокон и другого газообразного промышленного сырья или других газообразных промышленных отходов, содержащих SO_x . Общее содержание серы в вышеуказанных серосодержащих газах составляет менее 99.9% (по объёму).

Описание фигур

На фиг. 1 представлена принципиальная схема процессов и устройств для десульфуризации-денитрификации отработанного газа, регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации и концентрирования диоксида серы и/или оксидов азота.

На фиг. 1 позиция 1 обозначает отработанный газ с температурой ниже 50°C ; 2 обозначает нагнетательный вентилятор; 3 обозначает абсорбционную колонну; 4 обозначает внутренний циркуляционный насос для десульфуризации-денитрификации; 5 обозначает дымовую трубу; 6 обозначает отработанный газ после десульфуризации-денитрификации; 7 обозначает регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации; 8 обозначает насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации; 9 обозначает насос для насыщенного раствора; 10 обозначает насос для десульфуризации-денитрификации; 11 обозначает резервуар для регенерированного раствора; 12 обозначает насос для регенерированного раствора; 13 обозначает охлаждающее устройство; 14 обозначает теплообменник; 15 обозначает воду для охлаждения; 16 обозначает горячую воду; 17 обозначает нагреватель насыщенного раствора; 18 обозначает горячий агент; 19 обозначает холодный агент; 20 обозначает регенерационную колонну; 21 обозначает регенерированный десорбционный газ; 22 обозначает пар для десорбции; 23 обозначает концентрационную колонну; 24 обозначает насос для дистиллированной воды; 25 обозначает концентрированный газ, содержащий диоксид серы и/или оксиды азота; 26 обозначает дистиллированную воду. На фиг. каждый символ, обведённый кружком, имеет следующие значения: F₁, F₂, F₃ и F₄ обо-

значают скорость потока отработанного газа 1, скорость потока регенерированного раствора для десульфуризации 7 и скорость потока пара, поступающего в регенерационную колонну 20, и скорость потока пара, поступающего в концентрационную колонну 23, соответственно; A_1 обозначает композицию отработанного газа 1; A_2 обозначает композицию отработанного газа после десульфуризации-денитрификации 6; A_3 обозначает композицию концентрированного газа диоксида серы и/или оксидов азота 25; A_4 обозначает содержание SO_2 и NO в насыщенном растворе для десульфуризации-денитрификации 8; A_5 обозначает содержание SO_2 и NO в регенерированном растворе для десульфуризации-денитрификации 7 после регенерации; A_6 обозначает содержание SO_2 и NO в дистиллированной воде 26; P_1 обозначает давление в нижней части абсорбционной колонны 3; P_2 обозначает давление в верхней части абсорбционной колонны 3; P_3 обозначает давление в регенерационной колонне 20; P_4 обозначает давление пара 22; P_5 обозначает давление в концентрационной колонне 23; T_1 обозначает температуру отработанного газа 1; T_2 обозначает температуру отработанного газа после десульфуризации-денитрификации 6; T_3 обозначает температуру в абсорбционной колонне 3; T_4 обозначает температуру регенерированного раствора для десульфуризации-денитрификации 7, поступающего в абсорбционную колонну 3; T_5 обозначает температуру регенерированного раствора для десульфуризации-денитрификации 7, выходящего из охлаждающего устройства 13; T_6 обозначает температуру регенерированного раствора для десульфуризации-денитрификации, выходящего из теплообменника 14; T_7 обозначает температуру насыщенного раствора для десульфуризации-денитрификации, поступающего в теплообменник 14; T_8 обозначает температуру регенерированного раствора для десульфуризации-денитрификации, поступающего в теплообменник 14; T_9 обозначает температуру насыщенного раствора для десульфуризации-денитрификации, выходящего из теплообменника 14; T_{10} обозначает температуру, при которой насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации поступает в регенерационную колонну 20; T_{11} обозначает температуру в регенерационной колонне 20; T_{12} обозначает температуру регенерированного десорбционного газа 21; T_{13} обозначает температуру пара 22; T_{14} обозначает температуру дистиллированной воды 26; T_{15} обозначает температуру в концентрационной колонне 23; и T_{16} обозначает температуру концентрированного газа, содержащего диоксид серы и/или оксиды азота 25.

На фиг. 2 представлены принципиальная схема процесса и устройства для способа рекуперации с использованием прямого теплообмена при рекуперации остаточного тепла отработанного газа.

На фиг. 2 позиция 27 обозначает отработанный газ с температурой 130-180°C из бойлера; 28 обозначает отработанный газ с температурой ниже 50°C после рекуперации остаточного тепла; 29 обозначает колонну для рекуперации остаточного тепла с использованием прямого теплообмена; 30 обозначает насос для внутренней циркуляции при рекуперации остаточного тепла; 31 обозначает горячий теплоноситель; 32 обозначает насос для теплоносителя; 33 обозначает резервуар-отстойник для теплоносителя; 34 обозначает твёрдые частицы (пыль) и воду; 35 обозначает внешний циркуляционный насос для теплоносителя; 36 обозначает нагреватель для теплоносителя; 37 обозначает охлаждающее устройство для теплоносителя; 38 обозначает холодный теплоноситель; 39 обозначает нагреваемый агент; 40 обозначает нагретый агент; 41 обозначает воду для охлаждения; и 42 обозначает горячую воду.

На фиг. 3 представлены принципиальная схема процесса и устройства для способа рекуперации тепла с одновременным использованием прямого и косвенного теплообмена при рекуперации остаточного тепла отработанного газа.

На фиг. 3 позиция 27 обозначает отработанный газ с температурой 130-180°C из бойлера; 28 обозначает отработанный газ с температурой ниже 50°C после рекуперации остаточного тепла; 29 обозначает колонну для рекуперации остаточного тепла с использованием прямого теплообмена; 30 обозначает насос для внутренней циркуляции при рекуперации остаточного тепла; 31 обозначает горячий теплоноситель; 32 обозначает насос для теплоносителя; 33 обозначает резервуар-отстойник для теплоносителя; 34 обозначает твёрдые частицы (пыль) и воду; 35 обозначает внешний циркуляционный насос для теплоносителя; 37 обозначает охлаждающее устройство для теплоносителя; 38 обозначает холодный теплоноситель; 39 обозначает нагреваемый агент; 40 обозначает нагретый агент; 41 обозначает воду для охлаждения; 42 обозначает горячую воду; и 43 обозначает рекуператор тепла отработанного газа с использованием косвенного теплообмена.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Способ десульфуризации-денитрификации отработанного газа и оборудование согласно настоящему изобретению будут описаны дальше на примере конкретных вариантов. Эти варианты предназначены для лучшей иллюстрации данного изобретения и их не следует рассматривать как ограничивающие сущность данного изобретения.

Методами осуществления способов являются следующие: Осуществление способов и устройства для десульфуризации-денитрификации, регенерация раствора для десульфуризации-денитрификации и концентрирование диоксида серы и/или оксидов азота показаны на фиг. 1: отработанный газ 1 с температурой ниже 50°C закачивают нагнетательным вентилятором 2 и затем из нижней части он поступает в абсорбционную колонну 3. В то же самое время регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации поступает в абсорбционную колонну 3 из верхней части. В абсорбционной колонне 3 отработанный газ 1 приходит в непосредственное соприкосновение с регенерированным раствором 7 для

десульфуризации-денитрификации. В этой точке диоксид серы, некоторые оксиды азота и диоксид углерода в отработанном газе 1 абсорбируются регенерированным раствором 7 для десульфуризации-денитрификации. После того, как диоксид серы, некоторые оксиды азота и диоксид углерода абсорбировались, отработанный газ 1 превращается в отработанный газ 6 после десульфуризации-денитрификации, выходит из верхней части абсорбционной колонны 3 и выгружается через дымовую трубу 5 в атмосферу, в то время как содержание A_1 и A_2 диоксида серы, оксидов азота и диоксида углерода в отработанном газе 1 с температурой ниже 50°C и в отработанном газе 6 после десульфуризации-денитрификации анализируется online. Для увеличения площади поверхности контакта газа с жидкостью, увеличения времени контактирования газа с жидкостью и улучшения эффективности десульфуризации необходимо увеличить объём циркулирующего регенерированного раствора 7 для десульфуризации-денитрификации в абсорбирующей колонне 3, это в свою очередь требует увеличения количества внутренних циркуляционных насосов 4 для десульфуризации-денитрификации в абсорбирующей колонне 3, это увеличенное количество может составлять 0 или 1, или 2, или 3, или 4 ... или n (n означает положительное число) и т.д. Конкретное повышенное количество насосов, которое требуется, может быть определено по содержанию диоксида серы и/или оксидов азота в отработанном газе после проведения десульфуризации-денитрификации на выходе сверху абсорбционной колонны 3. Регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации с абсорбированным сернистым ангидридом, некоторые оксиды азота и диоксид углерода превращаются в насыщенный раствор 8 для десульфуризации-денитрификации вытекает из нижней части абсорбционной колонны 3, сжимается при помощи насоса 9 для насыщенного раствора и подвергается теплообмену в корпусе теплообменника 14 с горячим регенерированным раствором 7 для десульфуризации-денитрификации из регенерационной колонны 20 для повышения температуры и затем нагревается горячей средой 18 (горячая среда может быть жидкостью с температурой более 100°C, или может представлять собой отработанный газ с температурой 130-170°C, или может быть водяным паром с температурой более 100°C) до температуры выше 90°C при помощи нагревателя 17 для насыщенного раствора. Насыщенный раствор 8 для десульфуризации-денитрификации с температурой более 90°C направляется в регенерирующую колонну 20 сверху, в то время как пар для десорбции 22 направляется в регенерирующую колонну 20 снизу. В регенерирующей колонне 20 насыщенный раствор 8 для десульфуризации-денитрификации с температурой более 90°C приводится в прямой контакт с паром для десорбции 22. В этот момент диоксид серы, некоторые оксиды азота и диоксид углерода в обогащенном растворе 8 для десульфуризации-денитрификации десорбируются и поступают в пар для десорбции 22 для смешения с регенерированным десорбирующим газом 21, который вытекает сверху в регенерирующей колонне 20. После выделения диоксида серы, некоторого количества оксидов азота и диоксида углерода насыщенный раствор 8 для десульфуризации-денитрификации с температурой выше 90°C превращается в горячий регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации с температурой выше 90°C, который вытекает из нижней части регенерирующей колонны 20 и подвергается теплообмену с насыщенным раствором 8 для десульфуризации-денитрификации, подаваемым насосом 9 для насыщенного раствора в трубный ход и в проход в корпусе теплообменника 14 для снижения температуры. Охлаждённый регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации перемещается вдоль трубного хода холодильника 13, охлаждается до нормальной температуры охлаждающей водой 15 в проходе в корпусе, и сжимается при помощи насоса 12 для регенерированного раствора и подаётся в приёмник регенерированного раствора 11. Затем регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации в приёмнике 11 для регенерированного раствора сжимается при помощи насоса десульфуризации 10 и подаётся в абсорбирующую колонну 3 для десульфуризации-денитрификации. Раствор для десульфуризации-денитрификации превращается следующим образом: в абсорбирующей колонне 3 регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации абсорбирует диоксид серы, некоторое количество оксидов азота и диоксид углерода и превращается в насыщенный раствор 8 для десульфуризации-денитрификации, в регенерирующей колонне 20 насыщенный раствор 8 для десульфуризации-денитрификации нагревается, отпаривается и/или регенерируется в вакууме и снова превращается в регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации, и регенерированный раствор 7 для десульфуризации-денитрификации снова возвращается в цикл для использования и непрерывно так циркулирует. Регенерированный десорбирующий газ 21, вытекающий из верхней части регенерирующей колонны 20, поступает в колонну концентрации 23 в середине и контактирует с дистиллированной водой, сконденсированной в верхней части колонны концентрации 23. В отсеке для концентрации колонны концентрации 23 водяной пар в регенерированном десорбирующем газе 21 конденсируется при помощи охлаждающей воды 15. Концентрированный газ 25 из диоксида серы и/или оксидов азота, включавший неконденсирующуюся смесь газов диоксида серы, оксидов азота, диоксида углерода и т.п., вытекает из колонны концентрации 23 и может быть выделен как сырой газ. Одновременно конденсированная дистиллированная вода, содержащая диоксид серы и т.п., продолжает протекать в направлении нижней части колонны концентрации 23 и контактировать с десорбирующим паром 22 из нижней части. Диоксид серы и другие газы в дистиллированной воде отпариваются и десорбируются при помощи пара 22, так что конденсированная вода практически не будет содержать диоксида серы и других газов, достигая стандартных показателей дистиллированной воды 26 для выделения, и направляется в цикл для исполь-

зования при помощи насоса 24 для дистиллированной воды. В течение всего процесса охлаждающая вода 15 нагревается и превращается в горячую воду 16, которая может быть выделена как добавочная горячая вода для бойлера. После выделения тепла горячая среда 18 превращается в холодную среду 19. Холодная среда 19 может быть дистиллированной водой или другой жидкостью, которая может быть использована для продолжения абсорбции тепла и затем превращения в горячую среду 18 для повторного использования. Когда холодная среда 19 представляет собой охлаждённый отработанный газ, охлаждение продолжается до тех пор, пока температура отработанного газа 1 не станет ниже 50°C.

Схема процесса и работа устройств для осуществления прямого теплообмена в отработанном газе с рекуперацией показаны на фиг. 2. Отработанный газ 27 из бойлера с температурой 130-180°C поступает в колонну 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа в нижней части и непосредственно контактирует с теплоносителем 38, который в холодном состоянии распыляется из верхней части колонны для прямого теплообмена, в то время как отработанный газ 27 с температурой 130-180°C из бойлера охлаждается и превращается в отработанный газ 28 с температурой менее 50°C, и выгружается из верхней части колонны 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа. Для того, чтобы увеличить площадь поверхности контакта газ-жидкость, увеличить время контакта газ-жидкость и повысить эффективность теплообмена, необходимо увеличить объём циркулирующей жидкого теплоносителя, в колонне 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа, это в свою очередь требует увеличения количества внутренних циркуляционных насосов рекуперационного типа 30 в колонне 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа, это увеличенное количество насосов может составлять 0 или 1, или 2, или 3, или 4 ... или n (n означает положительное число), конкретное увеличенное количество насосов, которое требуется, может быть определено по температуре отработанного газа 28, выходящего из верхней части колонны 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа. В колонне 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа теплоноситель, жидкость 38, аккумулирующая тепло, которая находится в холодном состоянии, абсорбирует тепло отработанного газа 27 и затем превращается в жидкость, теплоноситель 31, которая находится в горячем состоянии, её температура является близкой к температуре отработанного газа 27 или ниже. В то же самое время жидкий теплоноситель 38, находящийся в холодном состоянии, будет также адсорбировать и обогащаться HCl, HF и крошечными пылевидными частицами (включая растворимые в воде и не растворимые в воде, а именно полярные и неполярные крошечные частицы, такие частицы обычно имеют обозначения PM100 и/или PM50 и/или PM2.5, и т.п.) в отработанном газе 27. Дополнительно, некоторое количество водяного пара в отработанном газе 27 будет конденсироваться с образованием воды, смешиваться с жидким теплоносителем 31, который находится в горячем состоянии, и выходить из донной части колонны 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа, направляться в отстойный приёмник 33 для жидкости, аккумулирующей тепло, при помощи насоса 32 для теплоносителя. Пылевидные частицы, содержащие HCl и HF, а также вода 34 разделяются и выгружаются из донной части отстойного приёмника 33 для жидкости, аккумулирующей тепло. После удаления пылевидных частиц и воды жидкий теплоноситель 31, находящийся в горячем состоянии, сжимается внешним циркуляционным насосом 35 для жидкого теплоносителя и направляется в жидкостной радиатор 36. В жидкостном радиаторе 36 для жидкого теплоносителя большая часть тепла передаётся в среду 39, которая должна нагреться, после абсорбции тепла среда 39, которая должна нагреться, становится нагретой средой 40 и используется как источник тепла для рекуперации тепла. После выделения некоторого количества тепла жидкий теплоноситель 31 находящийся в горячем состоянии, поступает в холодильник 37 для жидкого теплоносителя, где охлаждается охлаждающей водой 41 до нормальной температуры и превращается в жидкость 38, находящуюся в холодном состоянии, которая поступает в колонну 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа для повторной абсорбции тепла. В то же самое время охлаждающая вода 41 абсорбирует тепло и затем превращается в горячую воду 42, тепло которой может быть использовано.

Способ и методы работы устройств для рекуперации тепла при одновременном прямом-косвенном теплообмене в отработанном газе с рекуперацией показаны на фиг. 3. Отработанный газ 27 из бойлера с температурой 130-180°C поступает в рекуператор тепла 43 с косвенным теплообменом в отработанном газе и за счёт косвенного теплообмена некоторая часть тепла абсорбируется средой 39, подлежащей нагреву, которая затем превращается в нагретую среду 40. Температура нагретой среды 40 является близкой к температуре отработанного газа 27, составляющей 130-180°C, поступающего из бойлера, но ниже этой температуры. Нагретая среда 40 может быть выделена как источник тепла. После выделения некоторого количества тепла отработанный газ 27 поступает в колонну 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа из донной части и приводится в прямой контакт с жидкостью, аккумулирующей тепло 38, находящейся в холодном состоянии, распыляемой из верхней части колонны прямого теплообмена, в то время как отработанный газ 27 охлаждается и превращается в отработанный газ 28 с температурой менее 50°C и выпускается из верхней части колонны 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа. Для того, чтобы увеличить площадь поверхности контакта газ-жидкость, увеличить время контакта газ-жидкость и повысить эффективность теплообмена, необходимо увеличить объём циркулирующего теплоносителя в колонне 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа, это в свою очередь требует увеличения количества внутренних циркуляционных насосов рекуперационного типа 30 в колонне 29 с прямым теплообменом рекуперационного типа, это увеличенное количество насосов может составлять 0

или 1, или 2, или 3, или 4 ... или n (n означает положительное число), конкретное увеличенное количество насосов, которое требуется, может быть определено по температуре отработанного газа 28, выходящего из верхней части колонны 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа. В колонне 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа теплоноситель 38, который в холодном состоянии абсорбирует тепло отработанного газа 27 и затем превращается в теплоноситель 31, который находится в горячем состоянии, его температура является близкой к температуре отработанного газа 27, поступающего в колонну 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа из нижней части, или ниже температуры отработанного газа. В то же самое время теплоноситель 38, находящийся в холодном состоянии, будет также адсорбировать и обогащаться HCl, HF и крошечными пылевидными частицами (включая растворимые в воде и не растворимые в воде, а именно полярные и неполярные крошечные частицы, такие частицы обычно имеют обозначения PM100 и/или PM50 и/или PM2.5, и т.п.) в отработанном газе 27. Дополнительно, некоторое количество водяного пара в отработанном газе 27 будет конденсироваться с образованием воды, смешиваться с жидкостью 31, аккумулирующей тепло, которая находится в горячем состоянии, и выходить из донной части колонны 29 с прямым теплообменом рекуперативного типа, направляться в отстойный приёмник 33 для жидкости, аккумулирующей тепло, при помощи насоса 32 для жидкости, аккумулирующей тепло. Пылевидные частицы, содержащие HCl и HF, а также вода 34 разделяются и выгружаются из донной части отстойного приёмника 33 для жидкости, аккумулирующей тепло. После удаления пылевидных частиц и воды жидкость 31, аккумулирующая тепло, находящаяся в горячем состоянии, сжимается внешним циркуляционным насосом 35 для жидкости, аккумулирующей тепло, и направляется в жидкостной радиатор 36. В жидкостном радиаторе 36 для жидкости, аккумулирующей тепло, большая часть тепла передаётся в среду 39, которая должна нагреться, после абсорбции тепла среда 39, которая должна нагреться, становится нагретой средой 40 и используется как источник тепла для рекуперации тепла. В то же самое время охлаждающая вода 41 абсорбирует тепло и затем превращается в горячую воду 42, тепло которой может быть затем использовано.

В соответствии со способами и устройствами для десульфуризации-денитрификации отработанного газа, регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации и концентрирования диоксида серы и/или оксидов азота, показанными на фиг. 1, был изготовлена и смонтирована установка небольшого размера для десульфуризации-денитрификации отработанного газа, который имитирует осуществление промышленного способа. Использованы следующие технические характеристики различных узлов в этом аппарате:

спецификация абсорбирующей колонны 3: ϕ 219×4, общая высота 7.2 м, 4-слойная набивка, каждый слой высотой 1 м, материал нержавеющая сталь 316L;

спецификация приёмника для регенерированного раствора 11: ϕ 450×3, общая высота 2.0 м, материал: нержавеющая сталь 316L;

холодильник 13: ϕ 159×3, труба ϕ 10×1, длина 1.5 м, общая площадь поверхности теплообмена 3.9 м², материал: нержавеющая сталь 316L;

теплообменник 14: ϕ 159×3, 2 узла, труба ϕ 10×1, длина 1.5 м, площадь поверхности теплообмена 2×3.9 м², ϕ 219×3, 1 узел, труба ϕ 6×1, длина 1.4 м, поверхность теплообмена 9.63 м², общая площадь поверхности теплообмена 2×3.9+9.63=17.43 м², материал: нержавеющая сталь 316L;

нагреватель 17 для насыщенного раствора 17: ϕ 159×3, труба ϕ 32×1, длина 0.9 м, общая площадь поверхности теплообмена 1.63 м², материал: титан;

спецификация регенерирующей колонны 20: ϕ 219×4, общая высота 5.57 м, верхняя секция с одним слоем набивки высотой 1.5 м, нижний конец колонны пустой, материал: нержавеющая сталь 316L;

спецификация концентрационной колонны 23: ϕ 159×4, общая высота 6.2 м, верхний конец титановая труба, средняя секция с одним слоем паковки высотой 1.5 м, нижняя секция с одним слоем паковки высотой 2.0 м, материал: нержавеющая сталь 316L;

нагнетательный вентилятор 2: Модель 2HB710-АН37, объём воздуха 318 м³/, давление воздуха - 290~390 мбар (-29 кПа ~39 кПа), Shanghai Likai Mechanical & Electrical device Co., Ltd.;

внутренний циркуляционный насос 4: Модель IHG20-125, скорость потока 4.0 м³/ч, насосная головка 20 м, 0.75KW, 3 узла, материал: нержавеющая сталь 316L, Shanghai Changshen Pump Manufacturing Co., Ltd.;

насос 9 для насыщенного раствора 9, насос 10 для десульфуризации и насос 12 для регенерированного раствора 12: одинаковые модели IHG25-160, скорость потока 4.0 м³/ч, головка 32 м, 1.5KW, для каждого 1 узел, материал: нержавеющая сталь 316L, Shanghai Changshen Pump Manufacturing Co., Ltd.;

насос 24 для дистиллированной воды: все модели WB50/037D, скорость потока 1.2 м³/ч, головка 14.5 м, 0.37KW, 1 узел, материал: нержавеющая сталь 316L, Guangdong Yongli Pump Co., Ltd.;

объёмный счётчик отработанного газа: модель стеклянного роторного объёмного счётчика LZB-50, диапазон измерений 50-250 м³/ч, Jiangyin Keda Instalment Factory;

объёмный счётчик раствора десульфуризации-денитрификации: насос для насыщенного раствора, насос для регенерированного раствора и счётчик для вывода жидкости десульфуризации, стеклянный трубчатый счётчик LZB-32S, диапазон измерений: 0.4-4 м³/ч, Jiangyin Keda Instalment Factory;

счётчик для выходящей жидкости внутреннего циркуляционного насоса в абсорбционной колонне: стеклянный трубчатый счётчик, модель LZB-25S, диапазон измерений 0.36-3.6 м³/ч, 3 узла, Jiangyin Keda Instrument Factory;

счётчик пара (в колонне регенерации при отдувке газом): модель LUGB-2303-P2 вихревого расходомера с телом обтекания, диапазон измерений: 8-80 м³/ч, Beijing Bangyu Chengxin Industrial Technology Development Co., Ltd.;

счётчик пара (в концентрационной колонне): модель GHUGB-25 вихревого расходомера с телом обтекания, диапазон измерений: 10-60 м³/ч, Tianjin Guanghua Kaite Flow Meter Co., Ltd.

Для введения и выведения газов в абсорбционной колонне 3, а также десорбированных газов из концентрационной колонны 23, все ингредиенты анализировали online при помощи анализатора дымовых газов непрерывного действия, при этом содержание SO₂, NO и O₂ определяли при помощи УФ газового анализатора JNYQ-I-41; содержание CO₂ определяли при помощи ИК газового анализатора JNYQ-I-41C, изготавливаемого компанией Xi'an Juneng Instrument Co., Ltd. В то же самое время содержание SO₂, NO и CO₂ в составе газа определяли и откалибровывали методом химического анализа и результаты сравнивали величинами инструментального анализа, согласно которому: содержание SO₂ в газе определяли йодометрическим методом, содержание CO₂ в газе определяли методом с использованием хлорида бария и содержание NO в газе определяли колориметрическим методом с использованием нафтилэтилендиамина гидрохлорида.

Содержание SO₂, NO и CO₂ в регенерированном растворе 7 при десульфуризации-денитрификации, в насыщенном растворе 8 при десульфуризации-денитрификации и в дистиллированной воде 26 определяли химическим методом, согласно которому: содержание SO₂ в растворе определяли йодометрическим методом, содержание CO₂ в газе определяли методом с использованием хлорида бария и содержание NO в газе определяли колориметрическим методом с использованием нафтилэтилендиамина гидрохлорида.

Перемешивание газа проводили воздухом, SO₂, NO и CO₂, ингредиенты газа показаны в Таблицах с приведением полученных данных.

Согласно нашим патентным технологиям растворы для десульфуризации-денитрификации имели следующий состав:

1. 15% (вес) водный раствор Na₂SO₃;
2. 20% (вес) водный раствор монокалия цитрата;
3. Раствор EG;
4. Раствор PEG400;
5. Раствор PEG400 + 3% (вес) триэтаноламина;
6. Раствор NHD (смесь диметилловых эфиров полиэтиленгликоля со степенью полимеризации 4-8);
7. 60% (вес) EG + 30% (вес) H₂O + 10% (вес) раствор моонатрия цитрата;
8. 60% PEG400 (вес) + 30% H₂O (вес) + 10% (вес) раствор моонатрия цитрата;
9. 30% (вес) EG + 30% (вес) PEG400 + 30% (вес) H₂O + 10% (вес) раствор моонатрия цитрата;

Используя эти растворы для проведения десульфуризации-денитрификации были проведены опыты в установке для десульфуризации-денитрификации, изготовленной и смонтированной, как показано на фиг. 1, в соответствии со способами, описанными выше.

Результаты опытов показали, что:

1. Когда процесс десульфуризации-денитрификации осуществляли при использовании 15 вес.% водного раствора Na₂SO₃, 20 вес.% водного раствора монокалия цитрата, раствора EG и раствора PEG400, соответственно, этот раствор сначала обладал довольно высокой абсорбирующей способностью по отношению к диоксиду серы, скорость абсорбции была равна 90% или более, но он не был способен абсорбировать оксиды азота. Однако через 2-5 дней непрерывной работы этот раствор постепенно терял свою способность абсорбировать диоксид серы, этот раствор постепенно менялся по своей природе и не мог регенерироваться при нагревании выше 120°C.

2. Когда процесс десульфуризации-денитрификации осуществляли при использовании раствора PEG400 + 3 вес.% триэтаноламина и раствора NHD, соответственно, этот раствор сначала обладал довольно высокой абсорбирующей способностью по отношению к диоксиду серы, скорость абсорбции была равна выше 90%, абсорбирующая способность по отношению к оксидам азота также достигала 50% или подобной величины. Однако через 2-5 дней непрерывной работы этот раствор постепенно становился коричневато-чёрным, абсорбирующая способность по отношению к диоксиду серы и оксидам азота снизилась до 50 и 20% или до подобной величины, соответственно, этот раствор постепенно менялся по своей природе и получался вязкий желатиноподобный материал чёрного цвета.

3. Когда процесс десульфуризации-денитрификации осуществляли при использовании раствора 60 вес.% EG + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% моонатрия цитрата, 60 вес.% PEG400 + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% моонатрия цитрата и 30 вес.% EG + 30 вес.% PEG400 + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% моонатрия цитрата, соответственно, этот раствор обладал довольно высокой абсорбирующей способностью по отношению к диоксиду серы, скорость абсорбции была равна 90-100%, абсорбирующая способность по отношению к оксидам азота составляла 40-80%. Через 90 дней непрерывной работы абсорбирующая способность по отношению к диоксиду серы и оксидам азота не изменилась, эффективность удаления диоксида серы и

оксидов азота была стабильной, изменение природы раствора не было обнаружено. Некоторые данные проведённых тестов были собраны и показаны в табл. 1, табл. 3 и табл. 3, соответственно.

Из полученных результатов видно, что имелось небольшое различие среди растворов для десульфуризации-денитрификации, представлявших собой растворы 60 вес.% EG + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% мононатрия цитрата, 60 вес.% PEG400 + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% мононатрия цитрата и 30 вес.% EG + 30 вес.% PEG400 + 30 вес.% воды. Эффект был почти идеальным и растворы были относительно стабильными.

Результаты опытов показывают, что, подав ранее заявки на патент "Method for removing SO_x from gas using modified polyethylene glycol" (заявка № 201310481557.7), "Method for removing SO_x from gas using ethylene glycol composite solution" (заявка № 201310682799.2), "Method for removing SO_x from gas using polyol composite solution" (заявка № 201310682382.6) и т.д., мы обнаружили, что описанный в них раствор для десульфуризации не только имеет способность удалять диоксид серы из газа, но также обладает способностью абсорбировать оксиды азота в потоке газа. В частности, путём добавления к такому раствору небольшого количества добавок, содержащих сульфоксидную и/или сульфоновую группу (таких как DMSO и/или сульфолан, или их гидроксилсодержащие и/или карбоксилсодержащие производные), можно достичь значительного повышения способности раствора абсорбировать оксиды. Следовательно, применение этих растворов при осуществлении указанного способа и использовании устройств по изобретению позволяет провести крупномасштабную промышленную десульфуризацию-денитрификацию отработанного газа и/или абгазов.

Таблица 1. Оперативные данные для случая, когда раствором для десульфуризации-денитрификации служил раствор, состоящий из 60 вес.% EG + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% раствор мононатрия цитрата (выборка результатов, полученных 6-14 мая 2014 г)

Время	22:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	13:30	23:30	21:30
T ₁ /°C	43.6	48.8	46.2	49.4	49.1	44.5	44.7	43.4	42.6
T ₂ /°C	30.8	37.1	39.5	37.2	37	35.8	37	35	37.2
T ₃ /°C	33.6	37.6	40.9	38.1	37.7	38.8	37.8	37.3	41.9
T ₄ /°C	32.5	35.8	39.6	39.2	36.2	39.3	36.7	36.5	41.6
T ₅ /°C	42.2	47.9	53.8	30.2	45.5	49.8	35.1	38.2	38.5
T ₆ /°C	88.9	81.7	89.5	81.9	86.3	91	89.3	80.9	82.1
T ₇ /°C	36.1	39.5	42.5	40.8	40	39.1	38.5	37.4	41
T ₈ /°C	115.7	113.9	117.4	114.6	113.2	112	111.5	100.9	101
T ₉ /°C	108.1	105.1	103.2	99.4	99.4	101.4	100.1	91.5	94.2
T ₁₀ /°C	116.5	116	115.3	114	113.4	113.4	112.8	103.7	105.6
T ₁₁ /°C	115.9	115	116.5	115.6	112.8	112.6	112.3	101.4	101.9
T ₁₂ /°C	106.5	106	105.7	104.7	104.2	103.6	103.8	92.6	92.4
T ₁₃ /°C	114	114.3	116.3	114.9	114.8	114.4	115.5	109.1	106.1
T ₁₄ /°C	106.9	108.2	107.6	105.5	105.7	106.9	107.1	94.2	91.6
T ₁₅ /°C	105	105	104.9	103.7	103.6	103.1	103.2	92.3	92.2
T ₁₆ /°C	44.5	44.3	36.8	41.2	36.3	36	36.4	38.6	50.1
P ₁ /kPa	16	17	19	20	17	19	20	20	16.85
P ₂ /kPa	11	10	12	10	10	11	10	10	10.9

P3/kPa		-1	-2	2	0	-3	-2	-10	-30	-13
P4/kPa		26	27	3	30	20	27	30	0	0
P5/kPa		-3	-2	3	0	-3	-2	0	-40	-36.3
F1(м³/ч)		105	100	105	105	105	115	105	95	105
F2(l/мин)		15	15	15	15	15	15	15	15	15
F3(м³/ч)		18	11.1	22.3	24.6	8.7	24.4	18.4	22.3	16
F4(м³/ч)		10.2	4	9.5	11.6	4.0	7	10	4.5	8.8
A1	SO2(м.д.)	1248.4	801	1267.6	963.4	989	675.4	783.8	1053.5	1001.9
	NO(м.д.)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CO2 (об. %)	3.48	5.27	3.29	4.86	3.2	4.19	3.34	3.43	4.82
	O2 (об. %)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A2	SO2(м.д.)	1.1	1	22.9	45.2	3.8	11.4	3.7	7.1	29
	NO(м.д.)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CO2 (об. %)	3.66	5.26	3.28	4.94	3.53	4.36	3.44	3.46	5.83
	O2 (об. %)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A3	S	-	5	7	6	6	-	7	7	-
	O2 (об. %)	--	5.55	1.8	8.74	4.77	--	9.74	9.98	--
	NO (об. %)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CO2 (об. %)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	O2 (об. %)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A4	SO2 (г/л)	2.10	1.744	1.47	1.5224	1.467	0.54	1.0242	1.2233	0.91
	NO (г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A5	SO2(г/л)	0.19	0.109	0.08	0.083	0.083	0.06	0.0415	0.1037	0.129
	NO (г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A6	SO2 (г/л)	0.0163	0.0014	0.01	0.0108	0.0025	0.001	0.0077	0.0019	0.0016
	NO (г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Таблица 2. Оперативные данные для случая, когда раствором для десульфуризации-денитрификации служил раствор 60 вес.% PEG400 + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% моонатрия цитрата (18-21 мая 2014 г, два опыта в день, 3 опыта 21 мая)

Время	3:30	7:30	13:30	23:30	7:30	23:30	7:30	11:30	23:30
T ₁ /°C	41.6	44.5	---	44.7	42.6	41.2	42.4	46.9	39.7
T ₂ /°C	37.3	35.2	---	36.5	39.1	35.9	33.1	39.7	39.7
T ₃ /°C	42	38	---	40.4	43.7	39.2	34.8	41.7	41.9
T ₄ /°C	42	38.9	---	40	42.5	38.4	35.9	40.8	40.9
T ₅ /°C	44.3	32.7	---	40.4	41.5	40.7	32.8	42.9	42.9
T ₆ /°C	54.7	50.1	---	52.5	56.1	56	45	55.3	55
T ₇ /°C	42.4	39.8	---	41.4	45	39.2	38.1	41.7	41.8
T ₈ /°C	105.5	108.9	---	116.1	113.3	112.1	113.3	113.2	110.6
T ₉ /°C	92.1	96.1	---	101.9	101.9	101.6	101.9	99.3	140.4
T ₁₀ /°C	101.5	110.5	---	113	113.4	113.4	113.6	112.8	111.6
T ₁₁ /°C	105.6	1110	---	115.6	113.8	112.6	112.6	113.3	111.1
T ₁₂ /°C	92.6	98.7	---	103.4	102.9	102.7	102.4	102.8	101.5
T ₁₃ /°C	106	110.4	---	118.3	117.3	111.7	111.7	114.2	110.5
T ₁₄ /°C	91.1	90.7	---	103.8	105.1	104.9	103.8	103.1	105.3
T ₁₅ /°C	92.6	98.2	---	103	102.7	102.6	102.2	102.7	101.7
T ₁₆ /°C	35.9	38.7	---	34.3	34.3	37.7	37.5	36.8	37.9
P ₁ /кПа	18.95	14.9	---	17.15	20.4	18.7	16.4	20.4	21.2
P ₂ /кПа	6.2	7.95	---	6.65	5.7	5.55	8	3.3	4.45
P ₃ /кПа	-28.45	-19.6	---	-2.45	4.15	-1.7	-7.55	-4.95	-2.65
P ₄ /кПа	4.8	2.1	---	56.25	51.6	24.6	17.55	33.75	20.85
P ₅ /кПа	-31.8	-21.1	---	-4.25	-4.65	-5.55	-7.5	-5.8	-4.4
F ₁ (м ³ /ч)	80	105	105	105	95	95	105	95	80
F ₂ (л/мин)	25	20	25	22	22	20	18	22	22
F ₃ (м ³ /ч)	16.4	17.9	---	16.8	15	15.8	1.5	14.1	24.2
F ₄ (м ³ /ч)	6.3	6.7	---	6.7	5.3	4.9	0	5.1	6.9
A ¹	SO ₂ (м.д.)	1011	1207.5	1860	910.5	975	888.1	634.4	912
	NO (м.д.)	83	95	351.8	263.5	79.5	29.8	84.3	65.9
	CO ₂ (об.)	4.275	2.89	3.67	4.4	3.6	2.35	1.96	3.36

	%)									
	O ₂ (об. %)	20.3	20.6	---	---	---	20.9	20.6	20.1	20.25
A ₂	SO ₂ (м.д.)	5.75	67.25	22.4	4.1	27.5	8.8	14.4	39.8	93.8
	NO(м.д.)	94	79.1	318	219.5	54.3	11.4	29.3	145.1	27
	CO ₂ (об. %)	4.2	2.86	4.14	4.5	3.7	2.57	1.92	3.5	3.77
	O (об. %)	19.9	20.4	---	---	---	20.5	21	20.3	20.31
A ₃	SO ₂ (об. %)	---	---	88.3	89.6	89.5	90	90	89.6	90
	NO (об. %)	---	---	---	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
	CO ₂ (об. %)	---	---	5.1	12.6	11.6	5.35	8.2	14.1	10.4
	O ₂ (об. %)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A ₄	SO ₂ (г/л)	0.49	1.09	1.0626	0.6531	0.49	0.5464	0.4798	0.4265	0.3532
	NO(г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A ₅	SO ₂ (г/л)	0.11	0.0076	0.015	0.02	0.048	0.0266	0.0267	0.0533	0.0267
	NO(г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A ₆	SO ₂ (г/л)	0.010	0.006	0.0054	0.0014	0.001	0.0018	0.0017	0.0012	0.0065
	NO(г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Таблица 3. Оперативные данные для случая, когда раствором для десульфуризации-денитрификации служил раствор 30 вес.% EG + 30 вес.% PEG400 + 30 вес.% H₂O + 10 вес.% мононатрия цитрата (выдержки от 23-31 мая 2014 г)

Время	7:30	9:30	9:30	21:30	19:30	9:30	9:30	7:30	7:30
T ₁ /°C	40.8	54.7	56.1	54.5	57.9	56.9	57.4	54.8	55.6
T ₂ /°C	27	26.3	24.4	23.7	25.2	23.5	23.2	27.3	22.3
T ₃ /°C	38.5	39.7	37.6	37.1	38.1	35.1	37.2	37.3	35.1
T ₄ /°C	38.3	39.1	37.2	37.1	38.6	36.8	35.2	37.5	35
T ₅ /°C	46.2	44.9	37.2	40.7	45	34.5	31.7	39.7	37.6
T ₆ /°C	60.8	54.2	46.2	55.2	53	45.1	46.9	37.4	63.7
T ₇ /°C	40.8	42.4	38	39.6	39.8	37.7	40.1	38.5	38.3
T ₈ /°C	114.7	107.4	112.7	109.8	108	109	114.1	108.1	112.1
T ₉ /°C	104.1	104.7	110.7	92.8	107	101.3	102.8	107.7	111.6
T ₁₀ /°C	116.2	112.9	115.8	113	113.5	112.6	115.7	114.0	116.1
T ₁₁ /°C	115.6	108.5	113.2	111.1	105.7	104.8	107.6	103.3	106.7
T ₁₂ /°C	104.1	99	102.3	100.2	102.3	101	103.7	100.1	103
T ₁₃ /°C	110.9	135.4	114.4	110.5	111.3	111.2	116	111.4	112.4
T ₁₄ /°C	104	100.6	105.4	101	101.6	104.7	105.7	103.9	105.1
T ₁₅ /°C	103.7	99.1	100.9	100	98.2	99.8	102.9	100.1	103.1
T ₁₆ /°C	36.7	43.1	39.8	37.3	40.4	38.6	39.5	38.4	37.6
P ₁ /кПа	13.75	20.2	15.65	16.2	16.85	17.15	16.25	15.9	17.8
P ₂ /кПа	7.4	4.95	6.85	8.75	8.65	8.8	8.9	6.1	10.2
P ₃ /кПа	-1.1	- 10.55	-4.3	-8.9	-3.65	-9.7	-0.5	6.8	0.9

P ₄ /кПа		23.1	135.15	34.05	22.5	22.95	21.45	46.2	25.8	28.95
P ₅ /кПа		-3.1	-14.25	-8.1	-11.05	-5.25	1.5	-1.15	9.5	-0.35
F ₁ (м³/ч)		110	110	115	115	120	120	120	110	114
F ₂ (л/мин)		15	18	18	14	15	15	15	15	15
F ₃ (м³/ч)		17.8	23.2	18.5	20.4	19.7	21.3	24.6	25	15.6
F ₄ (м³/ч)		5.1	6.4	6.1	5.2	5.9	5.9	5.1	7	4.9
A1	SO ₂ (м.д.)	1141.5	708	933	528	490.5	690	805.5	646.5	538.5
	NO (м.д.)	75.8	23.3	33.5	32.8	28	9.8	45	35.8	21.1
	CO ₂ (об.%)	4.5	1.8	7.9	4.7	7.3	7.3	5.97	7.8	7.57
	O ₂ (об.%)	20.4	18.4	20	18.6	19.9	17.2	18.425	17.8	18.8
A2	SO ₂ (м.д.)	2.1	6.6	4.6	0.4	0.1	0.1	4.4	48.8	9.5
	NO (м.д.)	28.9	3.3	8.3	5.3	1.4	10.4	16.9	3.0	12.4
	CO ₂ (об.%)	5.1	1.8	6.7	4.8	8.9	8.2	6.7	8.1	9.4
	O ₂ (об.%)	20.1	18.5	18.6	18.6	16.4	17.6	18.8	18.1	19
A3	SO ₂ (об.%)	89.7	83.6	89.3	56.2	43.7	72.4	80.6	64.5	82
	NO (об.%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.06	0.1	0.09
	CO ₂ (об.%)	6.7	5.8	10.1	6	---	---	---	---	---
	O ₂ (об.%)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A4	SO ₂ (г/л)	0.9611	1.01	1.4776	0.6712	1.2088	1.2217	1.5209	1.1728	0.7552
	NO (г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A5	SO ₂ (г/л)	0.0163	0.1662	0.0358	0.0358	0.044	0.068	0.0383	0.1462	0.1114
	NO (г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A6	SO ₂ (г/л)	0.0009	0.0011	0.0017	0.0016	0.0016	0.0027	0.0010	0.0009	0.0019
	NO (г/л)	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ десульфуризации-денитрификации отработанного газа, включающий стадию рекуперации остаточного тепла, на которой температуру отработанного газа снижают до температуры менее 50°C путём теплообмена и осуществляют рекуперацию остаточного тепла;

стадию десульфуризации-денитрификации, на которой охлаждённый отработанный газ, полученный на предшествующей стадии, подают в абсорбционную колонну и приводят в контакт с раствором для десульфуризации-денитрификации подаваемым в верхнюю часть абсорбционной колонны насосом десульфуризации-денитрификации из резервуара для регенерированного раствора, диоксид серы и/или оксиды азота, содержащиеся в нём, абсорбируются раствором для десульфуризации-денитрификации, при этом указанный раствор для десульфуризации-денитрификации представляет собой смешанный раствор, содержащий полиол и/или полимерный полиол, а абсорбционная колонна содержит один или более внутренних циркуляционных насосов десульфуризации-денитрификации для повышения объёма циркуляции раствора для десульфуризации-денитрификации, увеличения площади поверхности контакта газа с жидкостью, увеличения времени контактирования газа с жидкостью и улучшения эффективности десульфуризации-денитрификации, при этом посредством одного или более внутренних циркуляционных насосов десульфуризации-денитрификации извлекают раствор десульфуризации-денитрификации из одной или нескольких точек, разнесённых по высоте абсорбционной колонны, и возвращают извлечённый раствор в абсорбционную колонну в её более высокую точку по отношению к точке извлечения;

стадию регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации, на которой в регенерационной колонне раствор для десульфуризации-денитрификации с абсорбированными диоксидом серы и/или оксидами азота высвобождает диоксид серы и/или оксиды азота путём нагревания и/или отдувки газом, и/или регенерации под вакуумом, и раствор для десульфуризации-денитрификации после регенерации возвращают в цикл для использования;

стадию концентрирования диоксида серы и/или оксидов азота, на которой в концентрационной колонне диоксид серы и/или оксиды азота, высвободившиеся во время стадии регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации, концентрируют с образованием диоксида серы и/или оксидов азота с высокой степенью чистоты.

2. Способ по п.1, характеризующийся тем, что в стадии рекуперации остаточного тепла используют прямой теплообмен или режим одновременных прямого и косвенного теплообмена.

3. Способ по п.2, характеризующийся тем, что в стадии рекуперации остаточного тепла отработанный газ приводят в прямой контакт с жидким теплоносителем для осуществления теплообмена и объём циркуляции жидкого теплоносителя увеличивают путём использования одного или более внутренних циркуляционных насосов рекуперации остаточного тепла.

4. Способ по п.1, характеризующийся тем, что стадию регенерации указанного раствора для десульфуризации-денитрификации конкретно осуществляют следующим образом: раствор для десульфуризации-денитрификации с абсорбированными из отработанного газа диоксидом серы и/или оксидами азота представляет собой насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации, который сначала подвергают косвенному теплообмену с регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации, вытекающим из нижней части регенерационной колонны и нагревающимся до температуры выше 90°C, и затем подают в верхнюю часть регенерационной колонны для десорбции диоксида серы и/или оксидов азота путём нагревания и/или отдувки газом, и/или регенерации под вакуумом и при этом он превращается в регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации, который вытекает из нижней части регенерационной колонны, подвергается теплообмену и охлаждению до температуры менее 50°C и затем направляется на стадию десульфуризации-денитрификации для повторного использования.

5. Способ по п.1, характеризующийся тем, что стадию концентрирования диоксида серы и/или оксидов азота конкретно осуществляют следующим образом: смешанный газ, высвобождаемый во время регенерации раствора для десульфуризации-денитрификации, который содержит диоксид серы и/или оксиды азота, подают в среднюю секцию концентрационной колонны, приводят в контакт с конденсированной водой из верхней части концентрационной колонны в противотоке для конденсации водяного пара в смешанном газе, смешанный газ, не содержащий водяного пара, выводят из верхней части концентрационной колонны; водяной пар поступает в нижний конец концентрационной колонны, контактирует с конденсированной водой при осуществлении противоточного контакта, остаточные диоксид серы и/или оксиды азота в конденсированной воде экстрагируют водяным паром для того, чтобы превратить конденсированную воду в дистиллированную воду, которая вытекает из нижней части концентрационной колонны и возвращается в цикл.

6. Установка для десульфуризации-денитрификации отработанного газа способом по п.1, включающая колонну рекуперации остаточного тепла, абсорбционную колонну, регенерационную колонну и концентрационную колонну, в которой

колонна рекуперации остаточного тепла используется для осуществления теплообмена между отработанным газом и жидким теплоносителем, который понижает температуру отработанного газа до вели-

чины менее 50°C, и для осуществления рекуперации остаточного тепла;

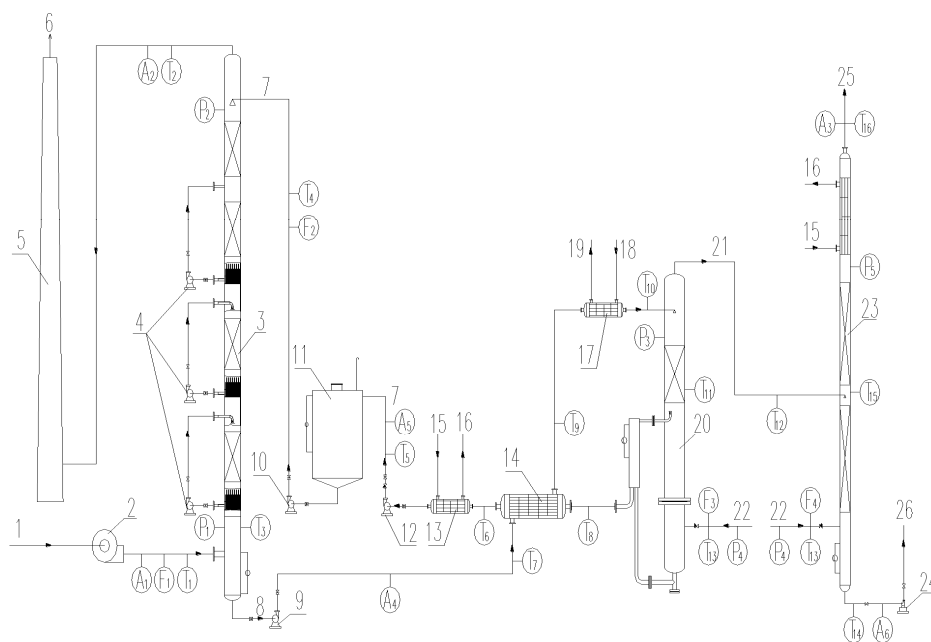
абсорбционная колонна используется для прямого контакта охлаждённого отработанного газа с раствором для десульфуризации-денитрификации, раствор для десульфуризации-денитрификации абсорбирует диоксид серы и/или оксиды азота в отработанном газе, превращается в насыщенный раствор для десульфуризации-денитрификации и затем выводится из абсорбционной колонны; при этом указанный раствор для десульфуризации-денитрификации представляет собой смешанный раствор, содержащий полиол и/или полимерный полиол, причем указанная абсорбционная колонна содержит один или более внутренних циркуляционных насосов десульфуризации-денитрификации для увеличения площади поверхности контакта газа с жидкостью, увеличения времени контактирования газа с жидкостью и улучшения эффективности десульфуризации-денитрификации;

регенерационная колонна используется для десорбции диоксида серы и/или оксидов азота из насыщенного раствора для десульфуризации-денитрификации путём нагревания и/или отдувки газом, и/или регенерации под вакуумом и превращения этого раствора в регенерированный раствор для десульфуризации-денитрификации, полученный путём регенерации, возвращают в абсорбционную колонну для повторного использования;

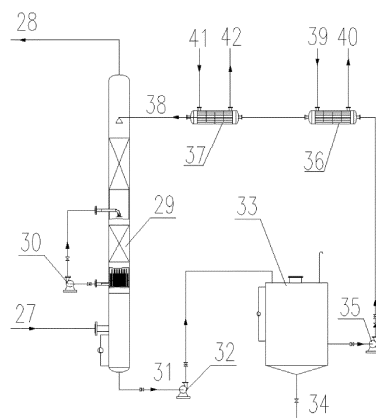
концентрационная колонна используется для удаления путём конденсации водяного пара из смешанного газа, содержащего диоксид серы и/или оксиды азота, который высвобождается из регенерационной колонны, диоксид серы и/или оксиды азота конденсируются с получением диоксида серы и/или оксидов азота с высокой степенью чистоты.

7. Установка по п.6, характеризующаяся тем, что указанная колонна рекуперации остаточного тепла снабжена внутри одним или более циркуляционными насосами рекуперации остаточного тепла для повышения объёма циркуляции теплоносителя.

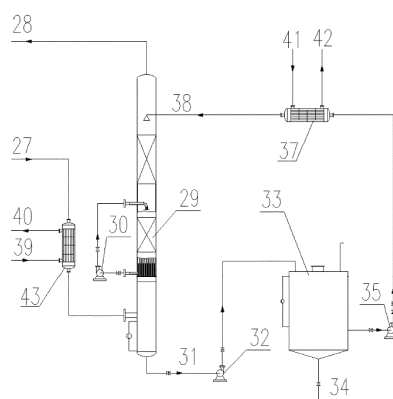
8. Установка по п.6, характеризующаяся тем, что между указанной абсорбционной колонной и регенерационной колонной помещён теплообменник и в теплообменнике происходит косвенный теплообмен между насыщенным раствором для десульфуризации-денитрификации из абсорбционной колонны и регенерированным раствором для десульфуризации-денитрификации, выходящим из регенерационной колонны.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

