

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202190220 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2021.06.16

(51) Int. Cl. *B01D 53/50* (2006.01)  
*B01D 53/52* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2019.02.20

(54) ОЧИСТКА КИСЛОГО ГАЗА

(31) 201810804898.6; 16/191,852

(32) 2018.07.20; 2018.11.15

(33) CN; US

(86) PCT/CN2019/075568

(87) WO 2020/015357 2020.01.23

(71) Заявитель:

ЦЗЯННАНЬ ИНВАЙРОНМЕНТАЛ  
ПРОТЕКШН ГРУП ИНК. (КУ)

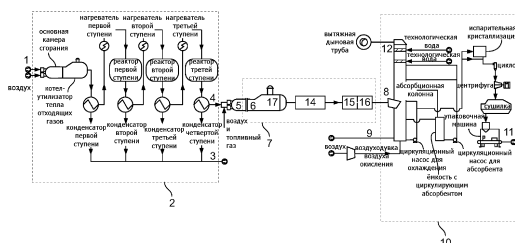
(72) Изобретатель:

Ло Цзин, Ци Лифан (CN)

(74) Представитель:

Фелицына С.Б. (RU)

(57) Установка и способы очистки кислого газа (1), в которых используют многоступенчатый цикл абсорбции в процессе десульфуризации на основе аммиака (9) для очистки остаточного кислого газа (6) после предварительной очистки кислого газа (1), при этом достигается эффективная очистка кислого остаточного газа (6) при низких затратах. Параметры кислого остаточного газа (6) можно регулировать с помощью системы (7) регулирования так, что величина энтальпии кислого остаточного газа (6) находится в интервале от 60 до 850 кДж/кг сухого газа, например в интервале от 80 до 680 кДж/кг сухого газа или от 100 до 450 кДж/кг сухого газа, и удовлетворяет требованиям к десульфуризации на основе аммиака (9), при этом достигается синергизм процессов предварительной очистки кислого газа (1) и десульфуризации на основе аммиака (9). Кроме того, сульфид водорода может быть превращен в серу/серную кислоту (3) плюс сульфат аммония (11) с регулируемым отношением полученных компонент.



A1

202190220

202190220

A1

## ОЧИСТКА КИСЛОГО ГАЗА

По данной заявке в соответствии с 35 U.S.C. § 119 испрашивается приоритет заявки № 201810804898.6 на выдачу патента Китая (дата подачи 20.07.2018), которая тем самым полностью включена в документы настоящей заявки.

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к очистке кислого газа, содержащего сернистые соединения (такие как сульфид водорода, диоксид серы, COS, CS<sub>2</sub> и т.д.), образующиеся в технологических процессах, проводимых в нефтехимической, газохимической, угольно-химической и других отраслях промышленности, при этом упомянутая очистка осуществляется посредством десульфуризации (обессеривания) на основе аммиака. Изобретение, в частности, относится к процессу очистки кислого газа, в котором очистка кислого остаточного газа осуществляется путем десульфуризации, использующей аммиак, при этом цель достигается в том, что конечный остаточный газ удовлетворяет нормам допустимых выбросов вредных веществ в результате осуществления абсорбции при многоступенчатой циркуляции абсорбирующей жидкости; изобретение, в частности, относится к очистке кислого газа, в ходе которой сначала с помощью системы регулирования регулируется величина энтальпии кислого остаточного газа, и затем кислый остаточный газ направляется на проведение последующего процесса десульфуризации, использующего аммиак. Изобретение, кроме того, относится к соответствующей установке для очистки кислого газа, которая может найти применение в областях техники, относящихся к нефтехимической, газохимической, угольно-химической и подобным отраслям промышленности.

Уровень техники

Кислый газ относится к технологическому газу, содержащему, в том числе серосодержащие вещества, такие как сульфид водорода, оксиды серы, серу органического происхождения и тому подобные соединения, которые образовались при осуществлении технологических процессов в нефтехимической, газохимической, угольно-химической промышленности, в отраслях нефте- и газохимической промышленности, связанных с переработкой сланцевых нефти и газа, и подобных отраслях промышленности. Вредными компонентами в кислом газе являются, главным образом, сульфид водорода, диоксид серы, COS, CS<sub>2</sub> и т.п. соединения с высоким содержанием H<sub>2</sub>S (обычно 70%-95% в нефтехимической промышленности, 30%-80% в газохимической промышленности и 20%-50% в угольно-химической промышленности), и поэтому необходима их очистка до соответствия нормам допустимых выбросов.

Известны различные способы, использующие различные технологии очистки кислого газа, содержащего сернистые соединения, такие как традиционная технология (метод) Клауса плюс регенерация абсорбцией с использованием восстановления гидрогенизацией (очистка отходящих газов методом Клауса (SCOT) при низкой температуре), сухой способ получения серной кислоты, дожигание плюс десульфуризация остаточного газа, процесс получения мокрой серной кислоты, традиционная технология Клауса плюс технология супер-Клауса (евро-Клауса), традиционная технология Клауса плюс сжигание остаточного газа плюс десульфуризация остаточного газа, традиционная технология Клауса плюс каталитическое окисление, традиционная технология Клауса плюс биологическая десульфуризация и т.д., при этом наиболее часто используемой технологией является метод Клауса плюс регенерация абсорбцией с использованием восстановления гидрогенизацией.

На стадии извлечения серы по методу Клауса 85%-99% сульфида водорода превращается в серу, и менее 15% сульфида восстанавливается путем гидрогенизации, абсорбируется и регенерируется с получением  $H_2S$ , который возвращается в устройство для извлечения серы по методу Клауса.

Однако после практического применения вышеупомянутых методов очистки кислый газ всё ещё в недостаточной степени удовлетворяет экологическим нормам, поэтому он не может быть непосредственно выброшен в атмосферу, и необходима дополнительная очистка кислого газа. Другие известные методы очистки включают десульфуризацию остаточного газа щелочным методом, биодесульфуризацию остаточного газа, использование Cansolv-процесса и тому подобные методы. При всё более и более строгих нормах в отношении серы, выбрасываемой в окружающую среду, обязательная степень извлечения серы может достигать 99,9% или более, и может потребоваться, чтобы концентрация оксида серы в остаточном газе была контролируемой на уровне  $100 \text{ мг/Нм}^3$  или даже составляла менее  $50 \text{ мг/Нм}^3$ .

Однако существующие методы обычно связаны с большими инвестициями, высокими эксплуатационными расходами и высокими концентрациями вредных примесей, или даже возникают трудности в обеспечении соответствия нормам выбросов вредных веществ, в особенности, в периоды запуска и перерыва в работе установок.

В патентном документе CN 200910188118, в соответствии с которым выдан патент Китая, описан способ десульфуризации остаточного газа с высокой концентрацией диоксида серы, в котором десульфуризация осуществляется с использованием натрия и одновременно извлекается побочный продукт - сульфит натрия, при этом остаточный газ перед десульфуризацией подвергается раскислению. Концентрация диоксида серы в

остаточном газе перед очисткой находится в интервале 10000-100000 мг/м<sup>3</sup>, концентрация кислорода - в интервале 2000-10000 мг/м<sup>3</sup>, концентрация диоксида серы в остаточном газе после очистки составляет менее 200 мг/м<sup>3</sup>. По сравнению с обычным методом, использующим сульфит натрия, стадия раскисления в этом способе требует превращения части диоксида серы в серную кислоту с низкой величиной концентрации, которая представляет собой выходящий из аппарата продукт, и степень извлечения диоксида серы в остаточном газе уменьшается. Кроме того, известный способ является проблематичным для полного раскисления, и чистота полученного сульфита натрия является низкой, кроме того, этот способ обуславливает большие капиталовложения и эксплуатационные затраты.

В патентном документе CN 200580011908.X, в соответствии с которым выдан патент Китая, описан способ биологической десульфуризации, который используется для биологической десульфуризации остаточного газа процесса Клауса с получением десульфуризованного остаточного газа и продукта в виде серы. Основной процесс заключается в том, что остаточный газ вводят в абсорбер, в котором он контактирует с бедным растворителем с получением десульфуризованного остаточного газа и обогащенного растворителя; обогащенный растворитель вводят в биореактор, в котором растворенный сульфид водорода подвергается биоокислению с получением продукта, содержащего серу, и бедный растворитель. Содержание сульфида водорода в остаточном газе может составлять менее 10 ppm (промилле). Этот способ связан с большими капиталовложениями, затруднительным производственным процессом и удалением отработавшей жидкости, при этом трудно поддерживать непрерывную и стабильную биологическую активность.

В патентном документе US5019361 представлена технологическая схема процесса Cansolv со следующими параметрами: концентрация диоксида серы в интервале  $7 \times 10^{-4}$  –  $5 \times 10^{-3}$ , массовая концентрация жидкости, содержащей органический амин, составляет не менее 20%, температура абсорбирующей жидкости находится в интервале 10°C – 50°C, количество диоксида серы, абсорбированного в расчете на 1000 г абсорбирующей жидкости, составляет более 100 г, температура десорбции находится в пределах 70°C-90°C, и на десорбцию 1 г диоксида серы будет потребляться 4г-10г водяного пара. Этот способ характеризуется большими капиталовложениями, удалением отработавшей кислоты и высоким потреблением энергии.

В патентном документе CN 201210288895, в соответствии с которым выдан патент Китая, описан способ очистки остаточного газа с использованием метода Клауса, в котором остаточный газ процесса Клауса, содержащий диоксид серы, кислород и воду, непрерывно добавляют в реактор, заполненный пористым угольным десульфуризатором;

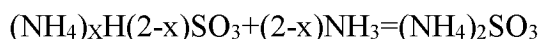
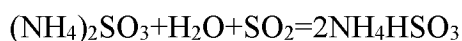
при температуре реакции в интервале  $30^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$  диоксид серы и вода в остаточном газе подвержены реакции каталитического окисления на поверхности пористого угля с образованием серной кислоты, и одновременно в реактор непрерывно вводят очищающий агент (детергент) регенерации. В этом способе степень десульфуризации составляет до 93%, и выпуск конечного остаточного газа не может удовлетворять высоким нормам охраны и защиты окружающей среды, причем возникают трудности в использовании побочного продукта в виде серной кислоты низкой концентрации. Остаточный газ многостадийного процесса Клауса не удовлетворяет требованиям к выпускаемому в атмосферу газу.

Страны во всем мире выбрасывают в атмосферу диоксид серы в различной степени. Выбросы диоксида серы в Китае являются огромными и оказывают значительное влияние на окружающую среду и на общество. Общее количество выбросов диоксида серы в 2014 году составило 19,74 миллион тонн, а общее количество выбросов диоксида серы в 2015 году составило 18,591 миллион тонн, при этом Китай по этим вредным выбросам занимает первое место в мире, что обуславливает огромные экономические потери и серьезно влияет на экологию окружающей среды и здоровье людей.

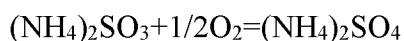
В связи с отмеченными выше недостатками известных методов и реально существующей в Китае массой выбрасываемого в атмосферу загрязнения в виде диоксида серы разрабатываются различные методы десульфуризации остаточного газа. В настоящее время существуют сотни разработанных методов десульфуризации, среди которых наиболее широко используемым является процесс мокрой десульфуризации, на который приходится приблизительно 85% мировой общей установленной производительности процесса десульфуризации. Общеизвестные технологии мокрой десульфуризации остаточного газа включают метод с использованием известняка-гипса, метод с использованием двух соединений щелочных металлов, метод с использованием карбоната натрия, метод с использованием аммиака, метод с использованием оксида магния и тому подобный метод. Десульфуризация с использованием аммиака представляет собой влажный процесс десульфуризации, использующий в качестве абсорбента аммиак, этот метод позволяет, используя  $\text{SO}_2$ , получать удобрения на основе сульфата аммония, и является экологически благоприятным методом обработки отходящих газов, характеризующимся низким потреблением энергии, высокой эффективностью и повторным использованием материальных ресурсов путем рециркуляции. Поскольку в производственных процессах химической промышленности образуется большое количество имеющейся в распоряжении аммиачной воды, десульфуризация с использованием аммиака может быть желательным способом очистки остаточного газа в

химической промышленности.

Процесс десульфуризации с использованием аммиака включает в себя, главным образом, три технологических процесса: абсорбцию, окисление и концентрирование (кристаллизацию). Сначала диоксид серы абсорбируется сульфитом аммония с получением смешанного раствора из сульфита аммония и гидросульфита аммония, а затем осуществляется нейтрализация путем добавления аммиака для получения вновь сульфита аммония:



В указанный раствор вводят окисленный воздух для окисления аммония (гидро) сульфита с получением аммония (гидро) сульфата:



Циркулирующая абсорбирующая жидкость, содержащая сульфат аммония, подвергается концентрированию, кристаллизации, разделению на жидкость и твердую фазу, и осушке для получения конечного продукта, сульфата аммония.

В патентном документе CN 201310130225.4, в соответствии с которым выдан патент Китая, раскрыты установка для обработки отходящего газа с использованием аммиака и способы обработки кислого остаточного газа, в частности, включающие следующие стадии: 1) контроль концентрации диоксида серы в остаточном газе, подлежащем вводу в абсорбционную колонну, на уровне  $\leq 30000 \text{ мг/Нм}^3$ ; 2) подача технологической воды или раствора сульфата аммония во входной трубопровод для отходящих газов абсорбционной колонны или внутрь абсорбционной колонны для разбрызгивания с целью снижения температуры; 3) в абсорбционной колонне имеется секция окисления, и в секции окисления предусмотрен распределитель окислителя для осуществления процесса окисления абсорбирующей жидкости процесса десульфуризации; 4) в абсорбционной колонне размещена секция абсорбции, и для осуществления распылительной абсорбции в процессе десульфуризации, с использованием в секции абсорбции абсорбирующей жидкости, содержащей аммиак, предусмотрен распределитель абсорбирующей жидкости; упомянутую абсорбирующую жидкость, содержащую аммиак, добавляют из резервуара для хранения аммиака; 5) в верхней части секции абсорбции в абсорбционной колонне образован слой промывочной воды, которая вымывает абсорбирующую жидкость, присутствующую в остаточном газе, для уменьшения потерь абсорбирующей жидкости; 6) в верхней части слоя промывочной воды в абсорбционной колонне размещено туманорассеивающее устройство (обогреватель) для контроля содержания капель тумана в очищенном остаточном газе; в угольно-химической

промышленности использование интегрированной технологии десульфуризации, включающей удаление серы по методу Клауса плюс десульфуризация с использованием аммиака, может уменьшить инвестиционные затраты на последующую очистку, упростить технологическая последовательность операций, и такой процесс применим, в основном, для очистки кислого газа в угольно-химической отрасли промышленности, и в этом случае необходимо, чтобы концентрация диоксида серы в остаточном газе, подлежащем вводу в абсорбционную колонну, контролировалась на уровне  $\leq 30000$  мг/Нм<sup>3</sup>, при этом требования в отношении других параметров остаточного газа, таких как величина энтальпии и содержание примесей, не установлены.

В патентном документе CN 201410006886.0, в соответствии с которым выдан патент Китая, описан способ эффективной очистки кислого газа, содержащего сульфид, с использованием технологии десульфуризации с помощью аммиака, включающий следующие стадии: 1) предварительная очистка, в которой сульфид, присутствующий в кислом газе, подвергается предварительной очистке, такой как извлечение серы, производство серной кислоты и/или сжигание, и после этого сера, оставшаяся в кислом газе, превращается в оксиды серы с получением кислого остаточного газа, содержащего оксиды серы; исходный кислый газ поступает из предприятий нефтехимической, газохимической, угольно-химической промышленности и подобных отраслей промышленности; 2) абсорбция аммиаком оксидов серы, при осуществлении которой кислый остаточный газ, содержащий оксиды серы, направляется в аммиачный абсорбер, где оксиды серы абсорбируются циркулирующей абсорбирующей жидкостью; 3) последующая доочистка от сульфата аммония, в ходе которой насыщенная или почти насыщенная абсорбирующая жидкость, которая полностью абсорбировала оксиды серы, подвергается концентрированию, кристаллизации, разделению жидкости и твердой фазы с получением в результате продукта, твердого сульфата аммония. Оксиды серы (диоксид серы, триоксид серы, и их гидраты) удаляются из кислого остаточного газа; кроме того, образуются побочные продукты: серная кислота, сера и сульфат аммония, и очищенный газ отводится, соответствуя установленным нормам по выбросам вредных веществ. Состав, плотность, кратность циркуляции или другие параметры абсорбирующей жидкости регулируются в соответствии с различными концентрациями оксидов серы и количествами абсорбированного диоксида серы, содержащегося в кислом остаточном газе. Если концентрация оксидов серы в кислом газе составляет менее 30000 мг/Нм<sup>3</sup>, кислый газ вводится непосредственно в аммиачный абсорбер без предварительной очистки. В этом известном способе не оговорены величина энтальпии и содержание примесей в кислом остаточном газе после предварительной очистки, а также меры по

очистке после поступления примесей в систему десульфуризации, использующей аммиак

В патентных документах CN 201611185413.7, CN 201611185413.7 и CN 201810062243.6 также предпринята попытка улучшить очистку кислого остаточного газа посредством десульфуризации с применением аммиака, но описанные меры для улучшения очистки всё ещё не являются совершенными. Помимо этого, в этих публикациях не был отмечен контроль величины энтальпии кислого остаточного газа.

В связи с изложенным желательно определить более подходящие параметры кислого остаточного газа и дополнительно повысить эффективность способа десульфуризации. Это позволит уменьшить капитальные вложения и эксплуатационные затраты в устройстве для десульфуризации, использующем аммиак, обеспечить продолжительный период стабильной работы устройства, кроме того, может обеспечить синергетический контроль предварительной очистки кислого газа и десульфуризации с аммиаком остаточного газа, повысить степень извлечения аммиака, и обеспечить контроль производства аэрозоля и повышение качества продукта.

Краткое описание чертежей

Объекты и преимущества изобретения будут понятны из приведенного ниже подробного описания изобретения, изложенного во взаимосвязи с сопровождающими чертежами, при этом на всех чертежах одинаковые номера позиции относятся к одинаковым элементам.

Фиг. 1 - принципиальная схема установки согласно Примеру 1 в соответствии с сущностью настоящего изобретения.

Фиг. 2 – блок-схема установки согласно Примеру 2 в соответствии с сущностью изобретения.

Фиг. 3 – блок-схема системы регулирования установки в соответствии с сущностью изобретения.

Перечень ссылочных номеров позиции

- 1 – кислый газ
- 2 – система извлечения серы
- 3 - сера/серная кислота
- 4 - остаточный газ с извлеченной серой
- 5 – система сжигания
- 6 – кислый остаточный газ
- 7 – система регулирования
- 8 – отрегулированный остаточный газ
- 9 - аммиак



10 – система десульфуризации, использующая аммиак

11 – сульфат аммония

12 - чистый остаточный газ

13 – система производства серной кислоты

14 – охлаждающее устройство

15 - осушающее устройство (влагопоглотитель)

16 – устройство для удаления серы

17 - устройство для удаления пыли/примесей

Подробное описание изобретения

Определения

Термин «извлечение аммиака» означает, что фракция или доля аммиака, добавленного в процесс очистки газа, впоследствии улавливается и извлекается из процесса.

Термин «пыль» означает материал в виде частиц, настолько мелких, что они уносятся газообразными потоками при транспортировании, обработке или контактировании. Указанный материал включает, но не в качестве ограничения, аэрозоли, в том числе твердые частицы аэрозоля и жидкие частицы аэрозоля, сажу, угольную пыль, несгоревший уголь, мелкозернистый материал, песок, гравий, соли, и любая комбинация указанного материала.

Термин «степень окисления» ("oxidation rate") означает процентное содержание, в расчете на мольный процент, данного материала, которое было превращено в идентифицированные более окисленные соединения этого материала. Например, в смеси, содержащей соединения, полученные из аммиака и оксида серы, если X мол.% в смеси соответствует содержанию сульфата аммония, Y мол.% - содержание сульфита аммония, и Z мол.% - какой-то другой аммиак, сера и/или соединения, содержащие кислород, имеющие больший потенциал окисления, чем сульфат аммония, поскольку сульфат аммония является идентифицированным, в наибольшей степени окисленным соединением, степень окисления будет соответствовать X мол.%.

Термин «оксиды серы или SO<sub>x</sub>» означает химические соединения, содержащие серу и кислород. Термин включает соединения, такие как монооксид серы (SO), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), триоксид серы (SO<sub>3</sub>), оксиды серы с более высокой степенью окисления (SO<sub>3</sub> и SO<sub>4</sub> и их полимерные конденсаты), оксид-сульфид серы (оксид серы (I)) (S<sub>2</sub>O), дисульфодидоксид (димерный монооксид серы) (S<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) и оксиды серы с более низкой степенью окисления (S<sub>7</sub>O<sub>2</sub>, S<sub>6</sub>O<sub>2</sub>, и SnO<sub>x</sub>, где «n» и «x» - любые возможные стехиометрические численные значения).

В том случае, если приведенные выше определения или характеристики, приведенные где-то ещё в данной заявке, не соответствуют смысловому содержанию понятия (явно или безусловно), которое обычно используется, приведено в словаре или установлено в источнике, включенном в настоящее описание посредством ссылки, необходимо принимать во внимание, что описание и термины, используемые в пунктах формулы, следует толковать в соответствии с определением, приведенным в данной заявке, или описанием данной заявки, а не в соответствии с общепринятым определением, приведенном в словаре, или определением, которое было включено посредством ссылки. В том случае, если используемый в формуле термин может быть понятным только при толковании с помощью словаря, используется определение, приведенное в энциклопедии Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology, 5th Edition, 2005, (John Wiley & Sons, Inc.), если только оно приведено в этом источнике.

Раскрытие обеспечивает установку и способы для очистки кислого газа, разработанные с учетом некоторых или всех отмеченные ниже проблем, существующих в уровне техники при использовании для очистки кислого остаточного газа десульфуризации на основе аммиака: невозможность достижения продолжительной стабильной работы установки, плохое качество продукта, трудности с контролем утечек (потерь) аммиака и производства аэрозоля. Предложенные установка и способ могут быть также направлены на решение других, не упомянутых проблем.

Установка и способы для очистки кислого газа могут включать использование для очистки кислого остаточного газа процесса десульфуризации на основе аммиака, и могут обеспечивать выпуск в атмосферу конечного остаточного газа, удовлетворяющего нормам по выбросам вредных веществ, что достигается за счет использования многоступенчатой абсорбции с циркуляцией абсорбирующей жидкости и эффективной очистки кислого остаточного газа с низкими затратами. В настоящем изобретении многоступенчатая абсорбция с циркуляцией абсорбента в процессе десульфуризации на основе аммиака, может включать один или большее количество циклов из цикла охлаждения, цикла абсорбции  $\text{SO}_2$  и цикла промывки водой.

Предпочтительно регулировать величины энтальпии кислых остаточных газов, полученных, как отмечено выше, сначала с помощью системы регулирования и затем путем подачи кислых остаточных газов в последующий процесс десульфуризации на основе аммиака.

Величина энтальпии кислого остаточного газа оказывает влияние на стабильную нормализованную (стандартизованную) работу устройства для десульфуризации: если величина энтальпии высокая и температура абсорбции также высокая, утечки (потери)

аммиака могут быть значительными, и в результате эффективность абсорбции не может быть гарантирована; в то же время, если величина энтальпии низкая, и температура абсорбции низкая, степень окисления циркулирующей абсорбирующей жидкости может быть низкой, и, следовательно, система последующей доочистки не может работать стабильно; более того, поскольку остаточный газ с извлеченной серой может быть не полностью сожжен в системе сжигания, сульфид водорода обладает свойством превращения в серу при низкотемпературном сжигании, при этом сульфид водорода, элементарная сера и органические вещества, в свою очередь, могут оказывать влияние на окисление сульфита аммония и кристаллизацию сульфата аммония, что обуславливает низкое качество продукта. Если желательно сжигать с помощью системы сжигания по сути весь сульфит водорода, органические вещества и элементарную серу, присутствующие в кислом газе или остаточном газе с извлеченной серой, необходимо повысить температуру процесса сжигания до 1300°C или выше, а также повысить коэффициент избытка воздуха до 1,8, и может потребоваться увеличение времени пребывания до 7 секунд. Однако это может увеличить капиталовложения и стоимость эксплуатации системы сжигания, и увеличить потребление горючего газа; кроме того, газообразные продукты сгорания могут иметь высокую концентрацию оксидов азота, и в результате капиталовложения на денитрификацию могут быть значительными с высокими эксплуатационными расходами, и содержание оксида азота в конечном очищенном газе, безусловно, может не соответствовать установленным нормам.

Величину энтальпии кислого остаточного газа следует надлежащим образом регулировать так, чтобы перед поступлением в процесс десульфуризации, использующий аммиак, она находилась в интервале 60-850 кДж/кг сухого газа, например, 80-680 кДж/кг сухого газа или 100-450 кДж/кг сухого газа.

Система регулирования может включать блок регулирования температуры и/или блок регулирования влажности или оба упомянутых блока регулирования температуры и регулирования влажности. Величину энтальпии кислого остаточного газа можно регулировать путем измерения температуры и влажности кислого остаточного газа, который будет поступать в процесс десульфуризации на основе аммиака, и соответствующего регулирования температуры и влажности остаточного газа с помощью системы регулирования.

Пример формулы для определения величины энтальпии остаточного газа:  $H = (1.01 + 1.88b) \cdot t + 2490b$ , где  $t$  – температура в °C,  $b$  – концентрация водяного пара в сухом газе, измеряемая в кг/кг сухого газа.

Специалистам в данной области техники будет понятно, что в зависимости от

различных температур и влажностей кислого остаточного газа, подлежащего очистке с использованием системы регулирования, блок регулирования температуры может соответственно содержать нагревательное или охлаждающее устройство, например, нагреватель или охладитель или другое средство регулирования температуры, в то время как блок регулирования влажности может соответственно содержать увлажняющее или осушающее устройство, такое как устройство, которое может осуществлять распределение газообразного азота или диоксида углерода или добавление водяного пара. Подходящие устройства для регулирования температуры и регулирования влажности сами по себе хорошо известны специалистам в данной области техники.

Система регулирования дополнительно может содержать один или большее количество из блока удаления серы, блока удаления пыли и блока удаления примесей. При этом с помощью системы регулирования можно регулировать общее содержание пыли (пылевидной фракции) в кислом остаточном газе, и общее содержание пыли в кислом остаточном газе после регулирования может составлять  $\leq 200$  мг/Нм<sup>3</sup>, например,  $\leq 50$  мг/Нм<sup>3</sup>.

С помощью системы регулирования можно регулировать содержание примесей в кислом остаточном газе, и содержание органических примесей в кислом остаточном газе после регулирования может составлять  $\leq 30$  ppm, например,  $\leq 10$  ppm, и/или содержание элементарной серы и сульфида водорода может составлять  $\leq 30$  ppm, например,  $\leq 10$  ppm.

Циркулирующая абсорбирующая жидкость в процессе десульфуризации, использующем аммиак, может быть подвержена очистке, после которой содержание взвешенного вещества в циркулирующей абсорбирующей жидкости может составлять  $\leq 200$  мг/л и/или содержание углеводородов (нефтяной фракции (oil)) может составлять  $\leq 100$  мг/л.

Специальных ограничений для источника кислого остаточного газа, который может быть использован в предложенных установке и способах, не существует, при условии, что они обычно используются в нефтехимической, газохимической, угольно-химической и подобных отраслях промышленности. В данном случае кислый остаточный газ может включать, к примеру, остаточный газ, полученный после обработки кислого газа, полученного на предприятиях нефтехимической, газохимической, угольно-химической промышленности, с помощью технологического процесса, такого как извлечение серы плюс сжигание, производство серной кислоты и сжигание; или кислый остаточный газ может включать, к примеру, представлять собой отходящий газ процесса регенерации катализатора крекинга.

Извлечение серы может включать процесс извлечения серы, такой как процесс

извлечения серы по методу Клауса, осуществляемый посредством проведения от одной до трех стадий процесса, процесс извлечения серы методом супер-Клауса, процесс извлечения серы методом евро-Клауса, процесс извлечения серы посредством каталитического окисления в жидкой фазе, или процесс биологического извлечения серы; и процесс производства серной кислоты может быть осуществлен посредством процесса производства серной кислоты методом мокрого катализа (процесс мокрой серной кислоты) или процесса производства серной кислоты методом сухого катализа.

Молярное отношение  $H_2S/SO_2$  в остаточном газе после извлечения серы можно регулировать в интервале 1,2-3, например, 1,5-2,5.

В процессе извлечения серы с последующим сжиганием и в процессе сжигания температура сжигания может составлять  $600^{\circ}C$ - $1300^{\circ}C$ , например,  $650^{\circ}C$ - $950^{\circ}C$ , при этом продолжительность процесса сжигания может составлять 1-6 сек., например, 1,5-4 сек., содержание кислорода в кислом остаточном газе может составлять 2%-5%, например, 3%-4%, а содержание оксида серы в кислом остаточном газе может составлять 2000-150000 мг/Нм<sup>3</sup>, например, 5000-55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Способ может включать следующие этапы технологического процесса:

1) кислый газ очищают путем удаления серы плюс сжигание, или производством серной кислоты, или посредством сжигания, или непосредственно при осуществлении процесса регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге, с получением кислого остаточного газа;

2) кислый остаточный газ направляют в систему регулирования для регулирования величины энтальпии остаточного газа так, чтобы она находилась в интервале 60-850 кДж/кг сухого газа, например, 80-680 кДж/кг сухого газа или 100-450 кДж/кг;

3) кислый остаточный газ, который удовлетворяет требованиям к величине энтальпии, направляют на процесс очистки путем десульфуризации на основе аммиака, для того чтобы чистый остаточный газ удовлетворял нормам выбросов вредных веществ, после прохождения многостадийной абсорбции с циркулирующей абсорбирующей жидкостью.

Кислый остаточный газ, полученный на стадии 2), может быть дополнительно очищен в системе регулирования так, что общее концентрация пыли составляет  $\leq 200$  мг/Нм<sup>3</sup> и/или содержание органических веществ  $\leq 30$  ppm и/или содержание элементарной серы составляет  $\leq 30$  ppm перед подачей в процесс десульфуризации на основе аммиака.

В состав установки может входить устройство для очистки кислого газа, включающее систему предварительной очистки кислого газа и систему десульфуризации, использующую аммиак.

Система предварительной очистки кислого газа может содержать одну или более из системы извлечения серы с системой сжигания, системы производства серной кислоты, системы сжигания и системы регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга. Система десульфуризации, использующая аммиак, может представлять собой традиционное устройство для десульфуризации с использованием аммиака, и её структура может быть известна из уровня техники, например, из патентных документов CN201710379460.3, CN201810057884.2, которые полностью включены в настоящее описание посредством ссылки (указанные заявки поданы заявителем).

В состав системы извлечения серы может входить одна или более из системы извлечения серы, осуществляемого по методу Клауса посредством проведения от одной до трех стадий процесса, системы извлечения серы по методу супер-Клауса, системы извлечения серы по методу евро-Клауса, системы извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе, или системы, использующей метод биологического извлечения серы.

В состав установки может входить система регулирования, содержащая устройство регулирования температуры и/или устройство регулирования влажности, или оба из указанных устройств регулирования температуры и влажности. Система регулирования может содержать одно или более из устройства для извлечения серы, устройства для извлечения пыли и устройства для извлечения примесей.

Система предварительной очистки кислого газа, система регулирования и система десульфуризации, использующая аммиак, могут быть соединены последовательно. Система предварительной очистки кислого газа может содержать систему извлечения серы плюс систему сжигания. Система регулирования может содержать одно или более из устройства регулирования температуры, устройства регулирования влажности и устройства извлечения примесей, которые могут быть соединены друг с другом последовательно в любом порядке, или одно или более из устройства для извлечения примесей, устройства регулирования температуры, устройства регулирования влажности и устройства извлечения примесей, которые могут быть соединены друг с другом последовательно в любом порядке.

Установка может содержать систему очистки с помощью абсорбирующей жидкости, в состав которой может быть включено одно или более из устройства для концентрации, устройства для разделения жидкости и твердой фазы, и устройства осушки.

Система очистки абсорбирующей жидкости может содержать одно или более из устройства для очистки раствора и устройства испарительной кристаллизации. Устройство для очистки раствора может содержать одно или более из устройства для

извлечения углеводородов и устройства для извлечения взвешенного вещества. Устройство для извлечения взвешенного вещества может быть выполнено с обеспечением циркулирующей абсорбирующей жидкости с содержанием взвешенного вещества  $\leq 200$  мг/л, 20-100 мг/л или 30-50 мг/л.

Устройство для извлечения углеводородов может быть выполнено с обеспечением циркулирующей абсорбирующей жидкости с содержанием углеводородов  $\leq 100$  мг/л, например, 10-80 мг/л или 20-30 мг/л. Устройство для извлечения углеводородов может содержать одно или более из устройства воздушной флотации, устройства для абсорбции или устройство прецизионного фильтра или комбинации указанных устройств.

Устройство для извлечения углеводородов может быть соединено с системой сжигания.

Кислый газ, отведенный из предприятий нефтехимической промышленности, может быть подвержен процессу извлечения серы плюс процессу сжигания (предварительная очистка) с получением кислого остаточного газа, и после этого величину энтальпии кислого остаточного газа, перед его подачей в процесс десульфуризации на основе аммиака, можно регулировать с помощью системы регулирования. В данном случае многоступенчатая абсорбция с циркулированием может включать одноступенчатый цикл охлаждения, двухступенчатый цикл абсорбции  $\text{SO}_2$  и одноступенчатый цикл промывки водой.

Система регулирования может содержать один или более из блока регулирования температуры, блока регулирования влажности и блока извлечения серы, которые соединены последовательно. Величину энтальпии кислого остаточного газа можно регулировать сначала до 560-720 кДж/кг сухого газа с помощью охлаждающего устройства, и затем низкотемпературный с низкой энтальпией газ, содержащий азот, может быть добавлен с помощью осушающего устройства для дополнительного регулирования величины энтальпии кислого остаточного газа до величины 440-530 кДж/кг сухого газа. После этого содержание элементарной серы и сульфида водорода в кислом газе можно регулировать и контролировать на уровне 4-7,5 ppm с использованием абсорбционного устройства для извлечения серы.

Содержание сульфида водорода в кислом газе может составлять, например, приблизительно 90%, остальное приходится на азот, диоксид углерода, и система извлечения серы для очистки кислого газа может включать 3-х стадийный процесс извлечения серы по методу Клауса с использованием воздуха. Молярное отношение  $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$  в остаточном газе после извлечения серы можно контролировать на уровне 1,7-2,8, при этом температура горения в системе сжигания может находиться в интервале

850°C-950°C, продолжительность процесса сжигания составляет 2-4 сек., содержание кислорода в остаточном газе может составлять приблизительно 3%, а содержание оксида серы в подвергнутом сжиганию остаточном газе может находиться в интервале 12000-15000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Для выбранного в качестве примера расхода остаточного газа 46000 Нм<sup>3</sup>/час степень извлечения серы может составлять 96%, годовое время работы может составлять 8400 часов, и после очистки может быть получено 477000 тонн серы в год и 80500 тонн сульфата аммония в год.

Если система регулирования не используется для регулирования содержания органического вещества в кислом остаточном газе, циркулирующая абсорбирующая жидкость процесса десульфуризации, использующая аммиак, может быть подвержена очистке путем извлечения углеводородов, чтобы уменьшить содержание углеводородов в циркулирующей абсорбирующей жидкости до величины  $\leq 50$  мг/л.

Установка для очистки кислого газа, приведенная в качестве примера, может содержать одну или более из системы предварительной очистки кислого газа (система извлечения серы плюс система сжигания), системы регулирования и системы десульфуризации на основе аммиака.

Система извлечения серы может включать устройство для проведения термической реакции (термическая стадия) и последующей 3-х стадийной каталитической реакции по методу Клауса, при этом устройством для извлечения серы путем каталитического восстановления методом Клауса может быть устройство для извлечения серы, в которое не загружают катализатор гидролиза.

В состав системы регулирования может входить одно или более из устройства для регулирования температуры, устройства для регулирования влажности и устройства для извлечения серы, которые соединены последовательно.

Используемые для очистки кислого газа система извлечения серы, система сжигания, система регулирования и система десульфуризации, использующая аммиак, могут быть соединены последовательно. Устройство для регулирования температуры может быть устройством двухступенчатой утилизации тепла отходящих газов, при этом побочным продуктом на первой ступени утилизации тепла отходящих газов может быть насыщенный водяной пар, а вторая ступень утилизации тепла отходящих газов может использовать нагретую питательную воду для котла; устройство для регулирования влажности может содержать устройство для распределения газообразного азота.

В состав установки может быть включена система очистки с помощью абсорбирующей жидкости, при этом указанная установка может содержать одно или



более из устройства концентрации, устройства для разделения твердой фазы и жидкости и устройство осушки.

Система очистки с помощью абсорбирующей жидкости может включать устройство для очистки раствора. Устройство для очистки раствора может представлять собой устройство для извлечения углеводов, которое может быть выполнено с возможностью использования циркулирующей абсорбирующей жидкости с содержанием углеводов  $\leq 50$  мг/л. В состав устройства для извлечения углеводов могут быть включены устройство воздушной флотации плюс прецизионный фильтр.

Устройство для извлечения углеводов может быть соединено с системой сжигания, и отработавшие углеводороды могут быть в системе сжигания полностью превращены в процессе горения в воду, диоксид углерода и диоксид серы.

В отношении установки и способов, соответствующих настоящему изобретению, можно указать ряд опубликованных патентных документов, касающихся десульфуризации на основе аммиака, в частности, патентные документы CN 200510040801.1, CN 03158258.3, CN 201010275966.8, CN 200510040800.7, CN 03158257.5 и тому подобные, а также можно указать заявки, находящиеся на стадии экспертизы: CN 201710379460.3, CN 201710379458.6, CN 201710154157.3, CN 201710800599.0, CN 201710865004.X и CN 201810329999.2.

По сравнению с известным из уровня техники процессом очистки кислого газа за счет определения регулируемых параметров кислого остаточного газа, использования процесса предварительной очистки плюс регулирование плюс десульфуризация на основе аммиака для очистки кислого газа, в частности, регулирование величины энтальпии кислого остаточного газа, предложенные установка и способы могут обеспечить снижение капиталовложений и эксплуатационных затрат в системе десульфуризации, использующей аммиак, стабильную продолжительную работу, синергетический контроль предварительной очистки и десульфуризации кислого остаточного газа, могут обеспечить увеличение степени извлечения аммиака, регулирование производства аэрозоля и повышение качества продукта.

Настоящим изобретением обеспечиваются установка и способы для очистки кислого газа. Установка может содержать и способы могут включать использование системы предварительной очистки кислого газа и системы десульфуризации на основе аммиака, которая сообщается по текучей среде с упомянутой системой предварительной очистки кислого газа.

В состав системы предварительной очистки могут быть включены одна или более из: система извлечения серы плюс система сжигания, система производства серной

кислоты; и система регенерации катализатора процесса каталитического крекинга. Система извлечения серы может включать систему извлечения серы методом Клауса. Система извлечения серы методом Клауса может представлять собой одноступенчатую систему извлечения серы методом Клауса. Система извлечения серы методом Клауса может представлять собой двухступенчатую систему извлечения серы методом Клауса. Система извлечения серы методом Клауса может представлять собой трехступенчатую систему извлечения серы методом Клауса.

Система извлечения серы может представлять собой систему извлечения серы посредством каталитического окисления в жидкой фазе. Система извлечения серы может представлять собой систему биологического извлечения серы.

Система извлечения серы может включать, в сообщении по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса, систему извлечения серы, использующую метод супер-Клауса.

Система извлечения серы может включать, в сообщении по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса, систему извлечения серы, использующую метод евро-Клауса.

Система извлечения серы может включать, в сообщении по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса, систему биологического извлечения серы.

Система извлечения серы может включать, в сообщении по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса, систему извлечения серы посредством каталитического окисления в жидкой фазе.

В состав установки может быть включена система регулирования, которая находится выше по потоку относительно системы десульфуризации, использующей аммиак, и сообщается с ней по текучей среде. Система регулирования может содержать регулятор температуры, обеспечивающий в указанной системе регулирования возможность регулирования температуры газа. Система регулирования может содержать регулятор влажности, обеспечивающий в указанной системе регулирования возможность регулирования влажности.

Установка может содержать в своем составе устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак. Установка может содержать в своем составе устройство для извлечения пылевидной фракции, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

Установка может содержать в своем составе устройство для извлечения примесей, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей

аммиак.

В состав установки могут быть включены устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и устройство для извлечения пыли, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

В состав установки могут быть включены устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и устройство для извлечения примесей, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

В состав установки могут быть включены устройство для извлечения пыли, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и устройство для извлечения примесей, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

Система предварительной очистки кислого газа, система регулирования и система десульфуризации, использующая аммиак, могут быть соединены последовательно вдоль направления движения потока очищаемого газа.

Система предварительной очистки кислого газа может содержать систему извлечения серы плюс систему сжигания.

В состав установки может быть включена система регулирования, которая сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и находится выше по потоку относительно системы десульфуризации. Система регулирования может содержать регулятор температуры, обеспечивающий в системе регулирования возможность регулирования температуры газа. Система регулирования может содержать регулятор влажности, обеспечивающий в системе регулирования возможность регулирования влажности газа.

Установка может содержать устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой для десульфуризации, использующей аммиак.

Система предварительной очистки кислого газа, система регулирования и система для десульфуризации, использующая аммиак, могут быть соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения потока.

Система предварительной очистки кислого газа может содержать систему извлечения серы плюс систему сжигания. В системе регулирования регулятор температуры, регулятор влажности и устройство для извлечения серы могут быть соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения потока. В системе регулирования регулятор температуры, регулятор влажности и устройство для извлечения

серы соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения потока.

Система десульфуризации аммиака может быть выполнена с возможностью циркуляции абсорбирующей жидкости, содержащей аммиак; и может содержать систему очистки абсорбирующей жидкости, в состав которой могут быть включены одно или более из устройства для концентрации, способного к приему абсорбирующей жидкости, устройства для разделения жидкой и твердой фаз, выполненного с возможностью улавливания твердой фазы, взвешенной в жидкости; и устройства для осушки, обеспечивающего осушку уловленной твердой фазы.

В состав системы очистки абсорбирующей жидкости может быть включено устройство для очистки раствора, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы, расположенным в процессе работы системы ниже по ходу движения потока. В состав системы очистки абсорбирующей жидкости может быть включено устройство испарительной кристаллизации, которое может сообщаться по текучей среде с одним или оба из: устройства для концентрации и устройства для разделения жидкости и твердой фазы; и может быть в процессе работы размещено: ниже по потоку относительно устройства для концентрации и выше по ходу движения потока относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

В состав системы очистки абсорбирующей жидкости может быть включено устройство для испарительной кристаллизации, которое может: сообщаться по текучей среде с одним или обоими из: устройства для концентрации и устройства для разделения жидкости и твердой фазы; и может быть в процессе работы размещено ниже по потоку относительно устройства для концентрации и выше по потоку относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для очистки раствора может содержать устройство для извлечения углеводородов, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

В состав устройства для очистки раствора может входить устройство для извлечения взвешенного вещества, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

В состав устройства для очистки раствора может входить устройство для извлечения взвешенного вещества, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

В устройстве для извлечения взвешенного вещества может быть обеспечена циркуляция абсорбирующей жидкости, в которой содержание взвешенного вещества составляет не более 200 мг/л. Содержание взвешенного вещества может находиться в

интервале от 20 до 100 мг/л. Содержание взвешенного вещества может находиться в интервале от 30 до 50 мг/л.

В состав устройства для извлечения углеводородов может быть включено устройство воздушной флотации, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для извлечения углеводородов может содержать адсорбционное устройство, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для извлечения углеводородов может содержать прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для извлечения углеводородов может содержать устройство для адсорбции, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для извлечения углеводородов может содержать прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для извлечения углеводородов может дополнительно содержать прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

Устройство для извлечения углеводородов может быть выполнено для получения циркулирующей абсорбирующей жидкости, содержание углеводородов в которой составляет не более 100 мг/л. Содержание углеводородов может находиться в интервале от 10 до 80 мг/л. Содержание углеводородов может находиться в интервале от 20 до 30 мг/л. Устройство для извлечения углеводородов может сообщаться по текучей среде с системой сжигания и в процессе работы оно находится выше потока относительно указанной системы сжигания. Способы могут включать прием кислого газа и получение из кислого газа одного или обоих из сульфата аммония и конечного остаточного газа, который удовлетворяет экологическим нормативам, установленным для выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Указанные экологические нормативы могут представлять собой нормы, установленные в документе, озаглавленном "Emission Standard of Pollutants for Petroleum Refining Industry (стандарты выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтеперерабатывающей промышленности)", опубликован в Китае, GB31570-2015, который полностью включен в настоящее описание посредством ссылки.

Стандарты выбросов могут быть стандартами, установленными в документе,

озаглавленном "Emission Standard of Pollutants for Petroleum Refining Industry (стандарты выбросов веществ, загрязняющих атмосферу, в нефтеперерабатывающей промышленности)," опубликован в Китае, GB31570-2015, который полностью включен в настоящее описание посредством ссылки.

#### Наглядные примеры стандартов выбросов загрязнений

Стандарты выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтеперерабатывающей промышленности. Таблицы 3,4, приведенные ниже, демонстрируют стандарты выбросов загрязнений для регенерированных отходящих газов технологических нагревательных печей, отходящих газов процесса регенерации катализатора установок крекинга с псевдоожиженным слоем катализатора (FCC), веществ в виде твердых частиц, присутствующих в остаточном газе установок извлечения кислого газа, никеля и его соединений, диоксида серы и тумана серной кислоты.

Из «Стандартов выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтеперерабатывающей промышленности».

Таблица 3. Конкретные ограничения выбросов, загрязняющих воздух (единицы измерения: мг/м<sup>3</sup>)

| Номер | Загрязнения                    | Устройства для извлечения кислого газа | Расположение устройства для мониторинга выбросов загрязняющих веществ |
|-------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1     | вещества в виде твердых частиц | —                                      | Выпускной трубопровод цехового или производственного оборудования     |
| 2     | никель и его соединения        | —                                      |                                                                       |
| 3     | диоксид серы                   | 400                                    |                                                                       |
| 4     | оксиды азота                   |                                        |                                                                       |
| 5     | туман из серной кислоты        | 30(4)                                  |                                                                       |
| 6     | хлористый водород              | —                                      |                                                                       |
| 7     | пары пека                      | —                                      |                                                                       |
| 8     | бензо [a] пирен                | —                                      |                                                                       |
| 9     | бензол                         | —                                      |                                                                       |
| 10    | толуол                         | —                                      |                                                                       |
| 11    | ксилен                         | —                                      |                                                                       |
| 12    | неметановые углеводороды       | —                                      |                                                                       |

Из «Стандартов выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтеперерабатывающей промышленности».

Таблица 4. Конкретные ограничения выбросов, загрязняющих воздух (единицы измерения: мг/м<sup>3</sup>)

| Номер | Загрязнения                    | Технологическая нагревательная печь | Отходящие газы (1) процесса регенерации катализатора крекинг-установки с псевдоожиженным слоем катализатора | Устройства для извлечения кислого газа | Расположение устройства для мониторинга выбросов загрязнений      |
|-------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1     | вещества в виде твердых частиц | отсутствуют                         | 30                                                                                                          | —                                      | Выпускной трубопровод цехового или производственного оборудования |
| 2     | никель и его соединения        | —                                   | 0.3                                                                                                         | —                                      |                                                                   |
| 3     | диоксид серы                   | 50                                  | 50                                                                                                          | 100                                    |                                                                   |
| 4     | оксиды азота                   | 100                                 | 100                                                                                                         | —                                      |                                                                   |
| 5     | туман серной кислоты           | —                                   | —                                                                                                           | 5(3)                                   |                                                                   |
| 6     | хлористый водород              | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |
| 7     | пары пека                      | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |
| 8     | бензо[а]пирен                  | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |
| 9     | бензол                         | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |
| 10    | толуол                         | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |
| 11    | ксилен                         | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |
| 12    | неметановые углеводороды       | —                                   | —                                                                                                           | —                                      |                                                                   |

Замечания

(1) Максимальная величина концентрации загрязнений в регенерированных отходящих газах, проходящих через утилизатор отходящих газов процесса каталитического крекинга, не превышает в 2 раза предельную величину в приведенной таблице, и продолжительность времени каждый раз не превышает 1 час.

«Стандарты выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтехимической промышленности». Таблицы 4 и 5, представленные ниже, демонстрируют требования к выбросам веществ в виде твердых частиц и диоксида серы, присутствующих в остаточном газе технологического процесса, осуществляемого в технологической нагревательной печи.

Из «Стандартов выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтеперерабатывающей промышленности».

Таблица 4. Ограничения выбросов, загрязняющих воздух (часть), (единицы измерения: мг/м<sup>3</sup>)

| Номер | Загрязнения     | Технологическая нагревательная печь | Расположение устройства для мониторинга выбросов загрязнений      |
|-------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1     | твердые частицы | 20                                  | Выпускной трубопровод цехового или производственного оборудования |
| 2     | диоксид серы    | 100                                 |                                                                   |
| 3     | оксиды азота    | 150<br>180(3)                       |                                                                   |

Из «Стандартов выбросов загрязняющих атмосферу веществ в нефтехимической промышленности.

Таблица 5. Конкретные ограничения выбросов для загрязнений воздуха (часть) (единицы измерения: мг/м<sup>3</sup>)

| Номер | Загрязнения     | Технологическая нагревательная печь | Расположение устройства для мониторинга выбросов загрязнений      |
|-------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1     | твердые частицы | 20                                  | Выпускной трубопровод цехового или производственного оборудования |
| 2     | диоксид серы    | 50                                  |                                                                   |
| 3     | оксиды азота    | 100                                 |                                                                   |

Процесс извлечения может включать одно или оба из извлечения серы из кислого газа с получением остаточного газа с извлеченной серой, и затем сжигание газа после извлечения серы.

Извлечение может включать получение серной кислоты из кислого газа.

Извлечение может включать сжигание.

Способ может включать транспортирование кислого газа по трубопроводу после осуществления химической реакции на предприятии нефтехимической отрасли. Способ может включать транспортирование по трубопроводу кислого газа после проведения химической реакции при обработке природного газа. Способ может включать транспортирование по трубопроводу кислого газа после проведения химической реакции с углем.

Процесс извлечения может включать генерирование отходящего газа в процессе регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге. Кислый остаточный газ может представлять собой отходящий газ процесса регенерации.

Процесс извлечения может включать регулирование величины энтальпии кислого остаточного газа.

Извлечение может включать прохождение регулируемого остаточного газа через одну или более из ступени охлаждения, ступени абсорбции и ступени промывки водой, при этом все упомянутые ступени размещены в реакторе десульфуризации с циркулирующим аммиаком.

Регулирование может включать изменение температуры кислого остаточного газа.

Регулирование может включать изменение влажности кислого остаточного газа.



Регулирование может включать изменение температуры кислого остаточного газа.

Регулирование может включать извлечение серы из кислого остаточного газа.

Регулирование может включать извлечение пыли из кислого остаточного газа.

Регулирование может включать извлечение примесей из кислого остаточного газа.

Регулирование может включать регулирование величины энтальпии кислого остаточного газа до величины 60-850 кДж/кг сухого газа. Регулирование может включать регулирование величины энтальпии до величины 80-680 кДж/кг сухого газа. Регулирование может включать регулирование величины энтальпии до величины 100-450 кДж/кг сухого газа.

Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы методом Клауса, содержащую одну ступень. Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы методом Клауса, содержащую две ступени. Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы методом Клауса, содержащую три ступени.

Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы, использующую метод каталитического окисления в жидкой фазе. Процесс извлечения может включать прохождение кислого газа через систему биологического извлечения серы. Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы методом супер-Клауса. Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы методом евро-Клауса. Извлечение может дополнительно включать прохождение кислого газа через систему биологического извлечения серы. Извлечение может включать прохождение кислого газа через систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе.

Производство серной кислоты может включать производство серной кислоты методом мокрого катализа. Производство серной кислоты может включать производство серной кислоты методом сухого катализа.

Процесс извлечения может включать получение газа с извлеченной серой, молярное отношение  $H_2S/SO_2$  в котором находится в интервале от 1,2 до 3. Указанное молярное отношение может находиться в интервале от 1,5 до 2,5.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 600°C до 1300°C. В результате сжигания может быть получен кислый остаточный газ.

При сжигании кислого газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1-6 сек.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию кислорода в интервале 2%-5%.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию оксида серы в интервале от

2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>. Процесс сжигания может осуществляться при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

При сжигании кислого газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1,5 - 4 сек.

Концентрация кислорода в кислом остаточном газе может находиться в интервале 3%-4%.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию оксида серы в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Способ может включать получение кислого остаточного газа с концентрацией оксида серы в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 600°C до 1300°C. В результате сжигания может быть получен кислый остаточный газ.

Способ может включать сжигание остаточного газа с извлеченной серой при продолжительности процесса сжигания, составляющей 1-6 сек.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию кислорода в интервале 2%-5%.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

При сжигании остаточного газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1,5 - 4 сек.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию кислорода в интервале 3%-4%.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию оксида серы в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Способ может включать получение кислого остаточного газа с концентрацией кислорода в интервале 2%-5%.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию оксида серы в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 600°C до 1300°C. В результате сжигания может быть получен кислый остаточный газ.

При сжигании остаточного газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1 - 6 сек.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

При сжигании остаточного газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1,5 - 4 сек.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию кислорода в интервале 3%-4%.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию оксида серы в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

При сжигании остаточного газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1 - 6 сек.

Способ может включать получение кислого остаточного газа с концентрацией кислорода в интервале 2%-5%.

Способ может включать получение кислого остаточного газа, имеющего концентрацию оксида серы в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 600°C до 1300°C. В результате сжигания может быть получен кислый остаточный газ.

Сжигание может осуществляться при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

При сжигании остаточного газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания может составлять 1,5 - 4 сек.

Кислый остаточный газ может иметь концентрацию кислорода в интервале 3%-4%.

Концентрация оксида серы в кислом остаточном газе может находиться в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

Извлечение может включать снижение содержания взвешенных веществ в циркулирующей абсорбирующей жидкости процесса десульфуризации, использующего аммиак, до уровня не более 200 мг/л.

Извлечение может включать снижение содержания углеводов в циркулирующей абсорбирующей жидкости процесса десульфуризации, использующего аммиак, до уровня не более 100 мг/л.

Извлечение может включать снижение содержания углеводов в циркулирующей абсорбирующей жидкости процесса десульфуризации, использующего аммиак до уровня не более 100 мг/л.

Процесс регулирования может обеспечить получение остаточного газа с содержанием органических веществ не более 30 ppm.

Процесс регулирования может обеспечить получение отрегулированного остаточного газа, имеющего содержание элементарной серы и сульфида водорода не более 30 ppm.

Процесс регулирования может обеспечить получение отрегулированного остаточного газа, имеющего содержание органических веществ не более 10 ppm.

Процесс регулирования может обеспечить получение отрегулированного остаточного газа, имеющего содержание элементарной серы и сульфида водорода не более 10 ppm.

Кислый газ может быть очищен путем извлечения серы плюс сжигания или производства серной кислоты или сжигания, или непосредственно в процессе регенерации

катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга, с получением кислого остаточного газа.

Кислый остаточный газ может быть направлен в систему регулирования для регулирования величины энтальпии остаточного газа так, чтобы она находилась в интервале 60-850 кДж/кг сухого газа, например, в интервале 80-680 кДж/кг сухого газа, или 100-450 кДж/кг сухого газа.

Кислый остаточный газ, удовлетворяющий выбранному критерию величины энтальпии, может быть направлен на осуществление процесса десульфуризации на основе аммиака с целью очистки, обеспечивающей соответствие конечного остаточного газа нормативам допустимых выбросов вредных веществ в результате осуществления многоступенчатой циркулирующей абсорбции.

Некоторые воплощения могут не включать характерные особенности (признаки), показанные и/или описанные во взаимосвязи с иллюстративной установкой. Некоторые воплощения могут включать характерные особенности (признаки), которые не показаны и/или не описаны во взаимосвязи с иллюстративной установкой. Признаки, характеризующие иллюстративную установку и способы могут быть скомбинированы. Например, одно иллюстративное воплощение может включать признаки, раскрытые в отношении другого иллюстративного воплощения.

Стадии иллюстративных способов могут быть осуществлены в порядке, ином по сравнению с порядком, показанным и/или изложенным в настоящем описании. В некоторых воплощениях могут быть исключены стадии, показанные и/или раскрытые в отношении иллюстративных способов. Некоторые воплощения могут включать стадии, которые не показаны и не описаны в отношении иллюстративных способов. Стадии иллюстративного способа могут быть скомбинированы. Например, один иллюстративный способ может включать стадии, раскрытые в отношении другого иллюстративного способа.

Воплощения могут включать все или некоторые характерные особенности (признаки) иллюстративной установки и/или некоторые или все стадии иллюстративных способов.

Описанные здесь установка и способы являются иллюстративными. Установка и способы в соответствии с изобретением далее будут раскрыты на Примерах и фигурах, которые являются частью этих примеров. На фигурах отображены характерные особенности установки и стадий способов в соответствии с принципами настоящего изобретения. Следует понимать, что могут быть использованы другие воплощения, и могут быть осуществлены конструктивные, функциональные модификации и

модификации производства без выхода за пределы объема и сущности настоящего изобретения.

#### Иллюстративные примеры

##### Пример 1

Был использован кислый газ 1, поступающий из источника кислого газа - предприятия нефтехимической промышленности. Кислый газ 1 был пропущен через систему 2 извлечения серы с получением остаточного газа 6 с извлеченной серой, затем полученный газ был пропущен через систему 5 сжигания с получением кислого остаточного газа 6 (система предварительной очистки). Величину энтальпии кислого остаточного газа регулировали с помощью система регулирования 7, и затем отрегулированный по величине энтальпии остаточный газ 8 был направлен в систему 10 десульфуризации на основе аммиака, в которую вводили аммиак 9. Многоступенчатая абсорбция в режиме циркуляции абсорбирующей жидкости в системе 10 десульфуризации, использующей аммиак, включала одну стадию цикла охлаждения, две стадии цикла абсорбции  $\text{SO}_2$  и две стадии промывки водой.

Использованная в данном примере система 7 регулирования, показанная на фиг. 3, включала устройство 17 извлечения примесей, устройство 14 охлаждения, устройство 15 осушки и устройство 16 извлечения серы, которые соединены последовательно. Содержание органического вещества в кислом остаточном газе было уменьшено до 4,5 ppm или менее с помощью устройства 17 для извлечения примесей, а величину энтальпии кислого остаточного газа 6 дополнительно регулировали до величины 600-810 кДж/кг сухого газа через устройство 14 охлаждения, и затем низкотемпературный газ, содержащий диоксид углерода с низким содержанием паров воды, был добавлен через устройство 15 осушки, чтобы дополнительно отрегулировать значение энтальпии кислого остаточного газа 6 до 410-505 кДж / кг сухого газа. Затем содержание элементарной серы и сульфида водорода (сероводорода) в отрегулированном остаточном газе 8 регулировали до 3 ppm или ниже путем адсорбции серы и сероводорода в остаточном газе через адсорбционное устройство 16 извлечения серы.

В данном примере содержание сульфида водорода в кислом газе 1 составляло 75%, остальное содержание приходилось на азот, диоксид углерода, водород и монооксид углерода; система 2 извлечения серы была приспособлена для проведения двухстадийного процесса извлечения серы по методу Клауса с использованием воздуха. Молярное отношение  $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$  в остаточном газе 4 с извлеченной серой контролировали на уровне 1,4-2,2, температура сжигания в системе 5 сжигания находилась в интервале от 750°C до 810°C, продолжительность нахождения газа в системе сжигания составляла 2-2,8 сек,

концентрация кислорода в кислом остаточном газе была равной 2,8%, а концентрация оксида серы составляла 22400 мг/Нм<sup>3</sup>

Расход кислого газа 1 был равен 8100 Нм<sup>3</sup>/ч, годовое время работы установки составило 8400 час, степень извлечения составляла 93,6%, при этом было получено 68200 тонн серы 3 в год и 19000 тонн сульфата аммония 11 в год, степень извлечения аммиака составила 99,1%.

Соответственно, установка для осуществления вышеупомянутого способа очистки в этом примере включает систему предварительной очистки кислого газа (в состав которой входят система извлечения серы плюс система сжигания), систему регулирования и систему десульфуризации, использующую аммиак, которые соединены последовательно.

В состав системы извлечения серы включены воздуходувки, устройство для проведения термической реакции и устройство для проведения двухстадийной каталитической реакции по методу Клауса.

Кроме того, система регулирования включала устройство для извлечения примесей, охлаждающее устройство, устройство для осушки и устройство для десульфуризации, соединенные друг с другом последовательно. Устройство для извлечения примесей представляло собой устройство для осуществления каталитического окисления, в качестве устройства для десульфуризации было использовано устройство для абсорбции, использующее активированный уголь, в охлаждающем устройстве была использована одностадийная утилизации тепла отходящих газов, при этом был получен побочный продукт в виде насыщенного водяного пара с давлением 0,3 – 0,5 МПа, а устройство для осушки было соединено с источником газообразного диоксида углерода.

В состав установки была включена система очистки абсорбирующей жидкости, которая содержала ёмкость для концентрирования в процесс циркуляции жидкости, устройство для разделения жидкости и твердой фазы и устройство осушки. В системе десульфуризации на основе аммиака был использован процесс кристаллизации в состоянии насыщения, реализованный в колонне.

Расход отрегулированного остаточного газа составил 68450 Нм<sup>3</sup>/час (стандартные условия, расчет на основе влажного газа, фактическое содержание кислорода), концентрация SO<sub>2</sub> составляла 16100 мг/Нм<sup>3</sup>, диаметр упомянутой колонны 3,2 м, высота 42 м, концентрация диоксида серы в полученном остаточном газе составляла 32,4 мг/Нм<sup>3</sup>, концентрация свободного аммиака 1,3 мг/Нм<sup>3</sup>, общее содержание пылевидной фракции составляло 9,5 мг/Нм<sup>3</sup>

В отношении установки и способов десульфуризации на основе аммиака,

рассмотренных в этом примере, может быть приведена ссылка на релевантные патентные документы CN 201710379460.3, CN 201710865004.X и CN 201810329999.2.

### Пример 2

Был использован кислый газ 1, полученный на предприятии газохимической промышленности. Кислый газ 1 был пропущен через систему 13 производства серной кислоты с получением серной кислоты 3 и кислого остаточного газа 6, и затем регулировали величину энтальпии кислого остаточного газа с помощью система регулирования 7. После этого отрегулированный остаточный газ был направлен в систему 10 десульфуризации с использованием аммиака, в которую вводили аммиак 9. Многоступенчатая абсорбция в режиме циркуляции абсорбирующей жидкости в системе 10 десульфуризации, использующей аммиак, включала одну стадию цикла охлаждения, одну стадию цикла абсорбции  $\text{SO}_2$  и одну стадию промывки водой.

В данном примере в состав системы регулирования 7 было включено устройство для дополнительного ввода водяного пара, и величина энтальпии кислого остаточного газа 6 за счет добавления водяного пара была отрегулирована до уровня 320-410 кДж/кг сухого газа.

В используемом в данном примере кислом газе 1 содержание сульфида водорода составляло 45%, содержание  $\text{CO}_2$  - 30%, остальное – азот, водород, монооксид углерода и метан. В системе 13 производства серной кислоты использовали процесс производства серной кислоты методом мокрого катализа. Содержание оксида серы в кислом остаточном газе составило 5350 мг/Нм<sup>3</sup>.

Расход кислого газа 1 был равен 7200 Нм<sup>3</sup>/ч, степень извлечения серной кислоты составила 98%, годовое время работы составило 8400 час, при этом было получено 119000 тонн серной кислоты 3 в год и 3200 тонн сульфата аммония 11 в год, степень извлечения аммиака составила 99,4%.

Соответственно, установка для осуществления вышеупомянутого способа очистки в этом примере включала систему производства серной кислоты методом мокрого катализа, систему регулирования и систему десульфуризации на основе аммиака, соединенные последовательно.

В состав системы производства серной кислоты методом мокрого катализа были включены устройство для сжигания, устройство для конверсии и устройство для конденсации.

Система регулирования включала устройство для добавления водяного пара.

В состав установки была включена система очистки абсорбирующей жидкости, устройство для разделения жидкости и твердой фазы и устройство осушки. В системе

десульфуризации на основе аммиака был использован процесс кристаллизации в состоянии насыщения, реализованный в колонне.

Расход отрегулированного остаточного газа составил 38450 Нм<sup>3</sup>/час (стандартные условия, влажная основа, фактическое содержание кислорода), концентрация SO<sub>2</sub> составляла 4830 мг/Нм<sup>3</sup>, диаметр упомянутой колонны 2,6 м, высота 33 м, концентрация диоксида серы в полученном остаточном газе составляла 16,8 мг/Нм<sup>3</sup>, концентрация свободного аммиака 0,6 мг/Нм<sup>3</sup>, общее содержание пыли 4,5 мг/Нм<sup>3</sup>.

В отношении установки для десульфуризации, использующей аммиак, и способов, используемых в данном примере, может быть приведена ссылка на релевантные патентные документы CN 201710379460.3, CN 201710865004.X и CN 201810329999.2.

### Пример 3

Был использован кислый остаточный газ, полученный при регенерации катализатора в процессе каталитического крекинга, осуществляемого на предприятии нефтехимической промышленности. Величину энтальпии кислого остаточного газа регулировали с помощью системы регулирования, и затем кислый остаточный газ был направлен в систему десульфуризации на основе аммиака. Многостадийная абсорбция с циркуляцией абсорбирующей жидкости в системе десульфуризации включала двухстадийный цикл промывки, одностадийный цикл абсорбции SO<sub>2</sub> и одностадийный цикл промывки водой.

В состав системы регулирования были включены устройство охлаждения, устройство извлечения пылевидной фракции и устройство удаления примесей. Устройство для извлечения примесей обеспечивало уменьшение содержания органического вещества до 6,2 ppm или менее. Величина энтальпии кислого остаточного газа была дополнительно отрегулирована до 370-408 кДж/кг сухого газа с помощью охлаждающего устройства. После этого с помощью устройства для извлечения пыли содержание пылевидной фракции было уменьшено до 20-30 мг/Нм<sup>3</sup>.

Расход кислого остаточного газа 1 был равен 210000 Нм<sup>3</sup>/ч, содержание оксида серы составило 2350 мг/Нм<sup>3</sup>, и общее содержание пыли составило 100-230 мг/Нм<sup>3</sup>. Годичное время работы составило 8400 час, при этом в результате очистки системы десульфуризации, использующей аммиак, было получено 4100 тонн сульфата аммония в год, степень извлечения аммиака составила 99,3%.

Соответственно, установка для осуществления рассмотренного выше способа включала систему регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга, систему регулирования и систему десульфуризации, использующую аммиак, соединенные последовательно.



В состав системы регулирования были включены охлаждающее устройство, устройство извлечения пыли и устройство извлечения примесей.

В состав установки включены система очистки абсорбирующей жидкости, которая содержала испарительный кристаллизатор, устройство для разделения жидкости и твердой фазы и устройство для осушки.

В состав системы очистки абсорбирующей жидкости включено устройство очистки раствора. Указанное устройство очистки раствора содержало устройство извлечения углеводородов и устройство извлечения взвешенных веществ, которые обеспечивали получение циркулирующей абсорбирующей жидкости с содержанием углеводородов  $\leq 80$  мг/л и содержанием взвешенных веществ  $\leq 120$  мг/л. В состав устройства для извлечения углеводородов были включены устройство воздушной флотации плюс прецизионный фильтр, при этом в качестве устройства для извлечения взвешенного вещества был использован фильтр-пресс, такой как пластинчатый и рамный фильтр-пресс.

Устройство для извлечения углеводородов соединено с системой сжигания, и отработанные углеводороды были полностью сожжены в системе сжигания с превращением в воду, диоксид углерода, и диоксид серы.

Абсорбционная колонна имела диаметр 6 м, высоту 32 м, концентрация диоксида серы в полученном остаточном газе составляла 23,3 мг/Нм<sup>3</sup>, концентрация свободного аммиака 0,75 мг/Нм<sup>3</sup>, а общее содержание пылевидной фракции 14,5 мг/Нм<sup>3</sup>.

В отношении установки для десульфуризации, использующей аммиак, и способов, используемых в данном примере, может быть приведена ссылка на патентные документы CN 201710379460.3 и CN 201810057884.2.

#### Сравнительный пример 1

Был повторно осуществлен Пример 1, за исключением того, что кислый остаточный газ не регулировали с помощью системы 7 регулирования. Кислый остаточный газ, после утилизации теплоты, подавали непосредственно в систему десульфуризации на основе аммиака. Параметры остаточного газа, поступающего в систему десульфуризации, использующую аммиак, и технические результаты сопоставлены ниже в таблице.

| Номер | Сравниваемый параметр                               | Единица измерения  | Пример 1 | Сравнительный пример 1 |
|-------|-----------------------------------------------------|--------------------|----------|------------------------|
| 1     | Величина энтальпии остаточного газа                 | кДж/кг             | 410-505  | 910-1000               |
| 2     | Содержание органических веществ в остаточном газе   | ppm                | 4,5      | 37                     |
| 3     | Содержание серы и сульфида в остаточном газе        | ppm                | 3        | 42                     |
| 4     | Температура абсорбции                               | °C                 | 50-57    | 70-85                  |
| 5     | Содержание диоксида серы в конечном остаточном газе | мг/Нм <sup>3</sup> | 32,4     | 123                    |

|   |                                                                           |                    |      |      |
|---|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|------|
| 6 | Содержание свободного аммиака в конечном остаточном газе                  | мг/Нм <sup>3</sup> | 1,3  | 26,8 |
| 7 | Общее содержание пыли в конечном остаточном газе                          | мг/Нм <sup>3</sup> | 9,5  | 47,9 |
| 8 | Степень извлечения аммиака в системе десульфуризации, использующей аммиак | %                  | 99,1 | 94,3 |

Из таблицы видно, что концентрация диоксида серы, содержание свободного аммиака и общее содержание пыли в Сравнительном примере 1 все имели большую величину, чем в Примере 1, и степень извлечения аммиака составила лишь 94,3%, т.е. на 4,7% ниже, чем в Примере 1, что свидетельствует о большом количестве вторичных загрязнений.

#### Сравнительный пример 2

Был повторно осуществлен Пример 2, за исключением того, что кислый остаточный газ не регулировали с помощью системы 7 регулирования, но кислый остаточный газ подавали непосредственно в систему десульфуризации, использующую аммиак. Параметры остаточного газа, поступающего в систему десульфуризации, использующую аммиак, и технические результаты сопоставлены ниже в таблице.

| Номер | Сравниваемый параметр                                                     | Единица измерения  | Пример 2 | Сравнительный пример 2 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|------------------------|
| 1     | Величина энтальпии остаточного газа                                       | кДж/кг             | 320-410  | 30-52                  |
| 2     | Температура абсорбции                                                     | °С                 | 47-50    | 30-35                  |
| 3     | Содержание диоксида серы в конечном остаточном газе                       | мг/Нм <sup>3</sup> | 16,8     | 37                     |
| 4     | Содержание свободного аммиака в конечном остаточном газе                  | мг/Нм <sup>3</sup> | 0,6      | 4,8                    |
| 5     | Общее содержание пыли в конечном остаточном газе                          | мг/Нм <sup>3</sup> | 4,5      | 18,3                   |
| 6     | Степень извлечения аммиака в системе десульфуризации, использующей аммиак | %                  | 99,4     | 97,2                   |

Из таблицы видно, что концентрация диоксида серы, содержание свободного аммиака и общее содержание пылевидной фракции в Сравнительном примере 2 все имели большую величину, чем в Примере 2, и степень извлечения аммиака составила только 97,2%, т.е. на 2,2% ниже, чем в Примере 2, что свидетельствует о большом количестве вторичных загрязнений.

#### Сравнительный пример 3

Был повторно осуществлен Пример 3, за исключением того, что кислый остаточный газ не регулировали с помощью системы 7 регулирования, но кислый остаточный газ, поступающий из системы регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга, и подвергнутый утилизации теплоты и денитрификации, был направлен непосредственно в систему десульфуризации,

использующую аммиак. Параметры остаточного газа, поступающего в систему десульфуризации, использующую аммиак, и технические результаты сопоставлены ниже в таблице.

| Номер | Сравниваемый параметр                                                     | Единица измерения  | Пример 3   | Сравнительный Пример 3 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 1     | Величина энтальпии остаточного газа                                       | кДж/кг             | 370-408    | 930-1150               |
| 2     | Содержание органических веществ в остаточном газе                         | ppm                | $\leq 6,2$ | 18,9                   |
| 3     | Общее содержание пыли в остаточном газе                                   | мг/Нм <sup>3</sup> | 20-30      | 150-300                |
| 4     | Температура абсорбции                                                     | °C                 | 47,5-49,8  | 80-90                  |
| 5     | Содержание диоксида серы в конечном остаточном газе                       | мг/Нм <sup>3</sup> | 23,3       | 169                    |
| 6     | Содержание свободного аммиака в конечном остаточном газе                  | мг/Нм <sup>3</sup> | 0,75       | 33,7                   |
| 7     | Общее содержание пыли в конечном остаточном газе                          | мг/Нм <sup>3</sup> | 14,5       | 102                    |
| 8     | Степень извлечения аммиака в системе десульфуризации, использующей аммиак | %                  | 99,3       | 91,3                   |

Из таблицы видно, что концентрация диоксида серы, содержание свободного аммиака и общее содержание пылевидной фракции в Сравнительном примере 3 все имели большую величину, чем в Примере 3, и степень извлечения аммиака составила только 91,3%, т.е. на 8% ниже, чем в Примере 3, что свидетельствует о большом количестве вторичных загрязнений.

Ниже описаны некоторые иллюстративные воплощения:

(А) Способ очистки кислого газа, в котором процесс десульфуризации на основе аммиака используют для очистки кислого остаточного газа, при этом достигаемый результат заключается в том, что конечный остаточный газ удовлетворяет нормам допустимых выбросов вредных веществ после осуществления многостадийной абсорбции с использованием циркулирующей абсорбирующей жидкости.

(В) Способ согласно (А), в котором кислый остаточный газ представляет собой остаточный газ, полученный после очистки кислого газа предприятий нефтехимической, газохимической и углехимической промышленности, осуществляемой посредством такого процесса, как извлечение серы плюс сжигание, производство серной кислоты и сжигание.

(С) Способ согласно (А), в котором кислый остаточный газ, представляет собой отходящий газ, полученный при регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга.

(D) Способ по любому из (В)-(С), в котором величину энтальпии кислого остаточного газа сначала регулируют с помощью системы регулирования, а затем кислый

остаточный газ направляют на осуществление последующего процесса десульфуризации на основе аммиака.

(E) Способ согласно (A), в котором многостадийный процесс абсорбции с циркуляцией абсорбирующей жидкости включает цикл охлаждения, цикл абсорбции и цикл промывки водой.

(F) Способ согласно (D), в котором система регулирования содержит блок регулирования температуры и/или блок регулирования влажности, или оба блока, блок регулирования температуры и блок регулирования влажности.

(G) Способ согласно (F), в котором система регулирования дополнительно содержит один или более из блока регулирования температуры, блока регулирования влажности и блока извлечения примесей.

(H) Способ согласно (D), в котором величина энтальпии остаточного газа после регулирования находится в интервале от 60 до 850 кДж/кг сухого газа, например, от 80 до 680 кДж/кг сухого газа или от 100 до 450 кДж/кг сухого газа.

(I) Способ согласно (B), в котором извлечение серы осуществляют в процессе извлечения серы, таком как 1-3-стадийный процесс извлечения серы по методу Клауса, процесс извлечения серы по методу супер-Клауса, процесс извлечения серы по методу евро-Клауса, процесс извлечения серы посредством каталитического окисления в жидкой фазе или процесс биологического извлечения серы; процесс производства серной кислоты осуществляют посредством производства серной кислоты методом мокрого катализа или процесса производства серной кислоты методом сухого катализа.

(J) Способ согласно (I), в котором молярное отношение  $H_2S/SO_2$  в остаточном газе после извлечения серы контролируют на уровне 1,2-3, например, 1,5-2,5.

(K) Способ согласно (B), в котором в процессе извлечения серы плюс процесс сжигания и в процессе сжигания температура сжигания находится в интервале от 600°C до 1300°C, например, в интервале от 650°C до 950°C, продолжительность процесс сжигания составляет 1-6 сек, например, 1,5-4 сек, концентрация кислорода в кислом остаточном газе составляет 2%-5%, например, 3%-4% и содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 2000 до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>, например, от 5000 до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

(L) Способ согласно (A), в котором циркулирующая абсорбирующая жидкость процесса десульфуризации на основе аммиака, подвергается процессу очистки, в результате которой содержание взвешенных веществ в циркулирующей абсорбирующей жидкости составляет  $\leq 200$  мг/л и/или содержание углеводородов составляет  $\leq 100$  мг/л.

(M) Способ согласно (G), в котором содержание органических веществ в

остаточном газе после регулирования составляет  $\leq 30$  ppm, например,  $\leq 10$  ppm и/или содержание элементарной серы и сульфида водорода составляет  $\leq 30$  ppm, например,  $\leq 10$  ppm.

(N) Способ в соответствии с любым из (A)-(M), который включает следующие конкретные стадии технологического процесса:

1) кислый газ очищают путем извлечения серы плюс сжигание или путем производства серной кислоты или сжигания, или непосредственно в процессе регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге, с получением кислого остаточного газа;

2) кислый остаточный газ направляют в систему регулирования для регулирования величины энтальпии остаточного газа так, чтобы эта величина находилась в интервале от 60 до 850 кДж/кг сухого газа, например, от 80 до 680 кДж/кг сухого газа или от 100 до 450 кДж/кг сухого газа;

3) кислый остаточный газ, который удовлетворяет требованиям, предъявляемым к величине энтальпии, направляют на осуществление процесса десульфуризации, использующего аммиак, в результате проведения которого за счет многоступенчатой абсорбции с циркуляцией абсорбирующей жидкости конечный остаточный газ удовлетворяет нормам выбросов вредных веществ в атмосферу.

(O) Установка для очистки кислого газа, которая содержит систему предварительной очистки кислого газа и систему десульфуризации на основе аммиака.

(P) Установка согласно (O), в которой система предварительной очистки содержит систему извлечения серы плюс систему сжигания, систему производства серной кислоты, систему сжигания и систему регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге.

(Q) Установка согласно (P), в которой система извлечения серы включает систему извлечения серы по методу Клауса с использованием от 1 до 3 ступеней извлечения серы, систему извлечения серы по методу супер-Клауса, систему извлечения серы по методу евро-Клауса, систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе и систему биологического извлечения серы.

(R) Установка согласно (O), в состав которой включена система регулирования, содержащая устройство регулирования температуры и/или устройство регулирования влажности или оба указанных устройства, т.е. устройство регулирования температуры и устройство регулирования влажности.

(S) Установка согласно (Q), в которой система регулирования дополнительно содержит одно или более из устройства извлечения серы, устройства извлечения пыли и

устройства извлечения примесей.

(T) Установка согласно (S), в которой система предварительной очистки кислого газа, система регулирования и система десульфуризации на основе аммиака соединены последовательно, при этом система предварительной очистки кислого газа содержит систему извлечения серы плюс систему сжигания, а система регулирования содержит устройство регулирования температуры, устройство регулирования влажности и устройство извлечения серы, которые соединены последовательно.

(U) Установка согласно (O), в состав которой дополнительно включены система очистки абсорбирующей жидкости, содержащая устройство для концентрации, устройство для разделения жидкой и твердой фаз и устройство для осушки.

(V) Установка согласно (U), в которой система очистки абсорбирующей жидкости дополнительно содержит одно или более из устройства для очистки раствора и устройства испарительной кристаллизации.

(W) Установка согласно (V), в которой устройство для очистки раствора может содержать одно или более из устройства для извлечения углеводородов и устройства для извлечения взвешенных веществ.

(X) Установка согласно (W), в которой устройство для извлечения взвешенных веществ обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости с содержанием взвешенных веществ  $\leq 200$  мг/л, например, 20-100 мг/л или 30-50 мг/л.

(Y) Установка согласно (W), в которой устройство для извлечения углеводородов представляет собой воздушный флотатор, абсорбирующее устройство или прецизионный фильтр или комбинацию указанных устройств.

(Z) Установка согласно (Y), в которой устройство для извлечения углеводородов обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости с содержанием углеводородов  $\leq 100$  мг/л, например, 10-80 мг/л или 20-30 мг/л.

(AA) Установка согласно любому из (V)-(Z), в которой устройство для извлечения углеводородов соединено с системой сжигания.

1. Установка для очистки кислого газа, содержащая систему предварительной очистки кислого газа и систему десульфуризации, использующую аммиак, сообщаемую по текучей среде с указанной системой предварительной очистки кислого газа.

2. Установка согласно воплощению 1, в которой в состав системы предварительной очистки включена система извлечения серы плюс система сжигания.

3. Установка согласно воплощению 1, в которой в состав системы предварительной очистки включена система производства серной кислоты.

4. Установка согласно воплощению 1, в которой в состав системы предварительной очистки включена система регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга.

5. Установка согласно воплощению 2, в которой система извлечения серы включает систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую одну ступень извлечения серы.

6. Установка согласно воплощению 2, в которой система извлечения серы включает систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую две ступени извлечения.

7. Установка согласно воплощению 2, в которой система извлечения серы включает систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую три ступени извлечения.

8. Установка согласно воплощению 2, в которой система извлечения серы включает систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе.

9. Установка согласно воплощению 2, в которой система извлечения серы включает систему биологического извлечения серы.

10. Установка согласно любому из воплощений 5-7, в которой система извлечения серы дополнительно содержит систему извлечения серы по методу супер-Клауса, которая сообщается по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса.

11. Установка согласно любому из воплощений 5-7, в которой система извлечения серы дополнительно содержит систему извлечения серы по методу евро-Клауса, которая сообщается по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса.

12. Установка согласно любому из воплощений 5-7, в которой система извлечения серы дополнительно содержит систему биологического извлечения серы, которая сообщается по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса.

13. Установка согласно любому из воплощений 5-7, в которой система извлечения серы дополнительно содержит систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе, которая сообщается по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса.

14. Установка согласно воплощению 1, дополнительно содержащая систему регулирования, которая сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и находится по отношению к системе десульфуризации выше по ходу движения потока.

15. Установка согласно воплощению 14, в которой система регулирования содержит регулятор температуры для регулирования в системе регулирования температуры газа.

16. Установка согласно воплощению 15, в которой система регулирования содержит регулятор влажности для регулирования в системе регулирования влажности

газа.

17. Установка согласно воплощению 14, в которой система регулирования содержит регулятор влажности для регулирования в системе регулирования влажности газа.

18. Установка по любому из воплощений 14-17, дополнительно содержащая устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

19. Установка по любому из воплощений 14-17, дополнительно содержащая устройство для извлечения пылевидной фракции, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

20. Установка по любому из воплощений 14-17, дополнительно содержащая устройство для извлечения примесей, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

21. Установка по любому из воплощений 14-17, дополнительно содержащая устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и устройство для извлечения пылевидной фракции, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

22. Установка по любому из воплощений 14-17, дополнительно содержащая устройство для извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и устройство для извлечения примесей, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

23. Установка по любому из воплощений 14-17, дополнительно содержащая:  
устройство для извлечения пылевидной фракции, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и устройство для извлечения примесей, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

24. Установка согласно любому из воплощений 18-23, в которой система предварительной очистки кислого газа, система регулирования и система десульфуризации на основе аммиака соединены последовательно в направлении вниз по ходу течения потока газа.

25. Установка согласно воплощению 24, в которой в состав системы предварительной очистки кислого газа включены система извлечения серы плюс система сжигания.

26. Установка согласно воплощению 1, дополнительно содержащая систему



регулирования, которая сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и размещена выше по ходу движения потока.

27. Установка согласно воплощению 26, в которой система регулирования содержит регулятор температуры, обеспечивающий в системе регулирования регулирование температуры газа.

28. Установка согласно воплощению 27, в которой система регулирования содержит регулятор влажности, обеспечивающий в системе регулирования регулирование влажности газа.

29. Установка согласно воплощению 28, дополнительно содержащая устройство извлечения серы, которое сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

30. Установка согласно воплощению 29, в которой система предварительной очистки кислого газа, система регулирования и система десульфуризации, использующая аммиак, соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения потока.

31. Установка согласно воплощению 30, в которой система предварительной очистки кислого газа включает систему извлечения серы плюс систему сжигания.

32. Установка согласно воплощению 31, в которой в системе регулирования регулятор температуры, регулятор влажности и устройство для извлечения серы соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения.

33. Установка согласно воплощению 30, в которой в системе регулирования регулятор температуры, регулятор влажности и устройство для извлечения серы соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения.

34. Установка согласно воплощению 1, в которой система десульфуризации, использующая аммиак, обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости, содержащей аммиак, и содержит систему очистки абсорбирующей жидкости, в состав которой входят устройство для концентрации, обеспечивающее прием абсорбирующей жидкости, устройство для разделения жидкости и твердой фазы, способное улавливать твердые вещества, взвешенные в жидкости, и устройство осушки, обеспечивающее осушку отделенных твердых частиц.

35. Установка согласно воплощению 34, в которой система очистки абсорбирующей жидкости дополнительно содержит устройство очистки раствора, которое сообщается по текучей среде с упомянутым устройством для разделения жидкости и твердой фазы и в процессе работы расположено ниже по ходу движения потока относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

36. Установка согласно воплощению 35, в которой система очистки

абсорбирующей жидкости дополнительно содержит устройство испарительной кристаллизации, которое сообщается по текучей среде с упомянутыми устройством для концентрации и устройством для разделения жидкости и твердой фазы, и расположено в процессе работы ниже по ходу движения потока относительно устройства для концентрации и выше по потоку относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

37. Установка согласно воплощению 34, в которой система очистки абсорбирующей жидкости дополнительно содержит устройство испарительной кристаллизации, которое сообщается по текучей среде с упомянутыми устройством для концентрации и устройством для разделения жидкости и твердой фазы, и расположено в процессе работы ниже по ходу движения потока относительно устройства для концентрации и выше по потоку относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

38. Установка согласно любому из воплощений 35 и 36, в которой устройство для очистки раствора содержит устройство для извлечения углеводородов, сообщаемое по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

39. Установка согласно воплощению 38, в которой устройство для очистки раствора содержит устройство для извлечения взвешенного вещества, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

40. Установка согласно любому из воплощений 35 и 36, в которой устройство для очистки раствора содержит устройство для извлечения взвешенного вещества, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

41. Установка согласно любому из воплощений 39 и 40, в которой устройство для извлечения взвешенного вещества обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости с содержанием взвешенного вещества не более чем 200 мг/л.

42. Установка согласно воплощению 41, в которой содержание взвешенного вещества находится в интервале от 20 до 100 мг/л.

43. Установка согласно воплощению 42, в которой содержание взвешенного вещества находится в интервале от 30 до 50 мг/л.

44. Установка согласно воплощению 38, в которой в состав устройства для извлечения углеводородов включено устройство воздушной флотации, сообщаемое по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

45. Установка согласно воплощению 44, в которой устройство для извлечения углеводородов дополнительно содержит устройство для абсорбции, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

46. Установка согласно воплощению 45, в которой устройство для извлечения углеводородов дополнительно содержит прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

47. Установка согласно воплощению 38, в которой устройство для извлечения углеводородов дополнительно содержит устройство для абсорбции, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

48. Установка согласно воплощению 38, в которой устройство для извлечения углеводородов дополнительно содержит прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

49. Установка согласно воплощению 47, в которой устройство для извлечения углеводородов дополнительно содержит прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

50. Установка согласно воплощению 44, в которой устройство для извлечения углеводородов дополнительно содержит прецизионный фильтр, который сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы.

51. Установка согласно любому из воплощений 44-50, в которой устройство для извлечения углеводородов обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости с содержанием углеводородов не более чем 100 мг/л.

52. Установка согласно воплощению 51, в которой содержание углеводородов находится в интервале от 10 до 80 мг/л.

53. Установка согласно воплощению 52, в которой содержание углеводородов находится в интервале от 20 до 30 мг/л.

54. Установка согласно любому из воплощений 44-53, в которой устройство для извлечения углеводородов сообщается по текучей среде с системой сжигания и в процессе работы расположено выше по потоку относительно системы сжигания.

55. Способ очистки кислого газа, который включает прием кислого газа, извлечение из кислого газа сульфата аммония и конечного остаточного газа, который удовлетворяет нормативам выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

56. Способ согласно воплощению 55, в котором упомянутые нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу определены в документе, озаглавленном "Emission Standard of Pollutants for Petroleum Refining Industry (Стандарты выбросов загрязняющих веществ в нефтеперерабатывающей промышленности)", опубликованном в Китае, GB31570-2015.

57. Способ согласно воплощению 55, в котором упомянутые нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу определены в документе, озаглавленном "Emission

Standard of Pollutants for Petroleum Chemistry Industry (Стандарты выбросов загрязняющих веществ в нефтехимической промышленности)", опубликованном в Китае, GB31571-2015.

58. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает извлечение серы из кислого газа с получением остаточного газа с извлеченной серой, и после этого осуществление сжигания указанного газа с извлеченной серой.

59. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает производство серной кислоты из кислого газа.

60. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает сжигание.

61. Способ по любому из воплощений 55-60, дополнительно включающий транспортирование кислого газа по трубопроводу после проведения химической реакции на нефтехимическом предприятии.

62. Способ по любому из воплощений 55-60, дополнительно включающий транспортирование кислого газа по трубопроводу после проведения химической реакции на предприятии газохимической промышленности.

63. Способ по любому из воплощений 55-60, дополнительно включающий транспортирование кислого газа по трубопроводу после проведения химической реакции на предприятии угольно-химической промышленности.

64. Способ по воплощению 55, в котором процесс извлечения включает образование отходящего газа процесса регенерации катализатора, используемого при проведении каталитического крекинга; при этом кислый газ включает отходящий газ процесса регенерации.

65. Способ по любому из воплощений 55-64, в котором процесс извлечения включает регулирование величины энтальпии кислого остаточного газа.

66. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает пропускание отрегулированного остаточного газа через: ступень охлаждения, ступень абсорбции и ступень промывки водой, при этом все ступени находятся в реакторе десульфуризации, использующем циркулирующий аммиак.

67. Способ согласно воплощению 65, в котором процесс регулирования включает изменение температуры кислого остаточного газа.

68. Способ согласно воплощению 65, в котором процесс регулирования включает изменение влажности кислого остаточного газа.

69. Способ согласно воплощению 68, в котором процесс регулирования дополнительно включает изменение температуры кислого остаточного газа.

70. Способ согласно любому из воплощений 67-69, в котором процесс

регулирования дополнительно включает извлечение серы из кислого остаточного газа.

71. Способ согласно любому из воплощений 67-69, в котором процесс регулирования дополнительно включает извлечение пылевидной фракции из кислого остаточного газа.

72. Способ согласно любому из воплощений 67-69, в котором процесс регулирования дополнительно включает извлечение примесей из кислого остаточного газа.

73. Способ согласно воплощению 70, в котором процесс регулирования дополнительно включает извлечение примесей из кислого остаточного газа.

74. Способ согласно воплощению 71, в котором процесс регулирования дополнительно включает извлечение примесей из кислого остаточного газа.

75. Способ согласно воплощению 65, в котором процесс регулирования обеспечивает регулирование величины энтальпии остаточного газа до 60-850 кДж/кг сухого газа.

76. Способ согласно воплощению 65, в котором процесс регулирования обеспечивает регулирование указанной величины до 80-680 кДж/кг сухого газа.

77. Способ согласно воплощению 65, в котором процесс регулирования обеспечивает регулирование указанной величины до 100-450 кДж/кг сухого газа.

78. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую одну ступень.

79. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую две ступени.

80. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую три ступени.

81. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе.

82. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает пропускание кислого газа через систему биологического извлечения серы.

83. Способ по любому из воплощений 78-80, в котором процесс извлечения дополнительно включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы методом супер-Клауса.

84. Способ по любому из воплощений 78-80, которым процесс извлечения дополнительно включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы методом евро-Клауса.

85. Способ по любому из воплощений 78-80, которым процесс извлечения дополнительно включает пропускание кислого газа через систему биологического извлечения серы.

86. Способ по любому из воплощений 78-80, которым процесс извлечения дополнительно включает пропускание кислого газа через систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе.

87. Способ согласно воплощению 59, в котором производство серной кислоты включает получение серной кислоты методом мокрого катализа.

88. Способ согласно воплощению 59, в котором производство серной кислоты включает получение серной кислоты методом сухого катализа.

89. Способ по любому из воплощений 78-88, в котором процесс извлечения включает получение газа с извлеченной серой и молярным отношением  $H_2S/SO_2$  в интервале от 1,2 до 3.

90. Способ согласно воплощению 89, в котором указанное молярное отношение находится в интервале от 1,5 до 2,5.

91. Способ согласно воплощению 56, в котором осуществляют сжигание при температуре в интервале от 600°C до 1300°C и получают кислый остаточный газ.

92. Способ согласно воплощению 91, в котором процесс сжигания остаточного газа с извлеченной серой продолжается в течение от 1 до 6 сек.

93. Способ по любому из воплощений 91-92, в котором содержание кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 2% до 5%.

94. Способ по любому из воплощений 91-93, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

95. Способ по любому из воплощений 91-94, в котором процесс сжигания осуществляется при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

96. Способ согласно любому из воплощений 91-95, в котором процесс сжигания остаточного газа с извлеченной серой продолжается в течение от 1,5 до 4 сек.

97. Способ по любому из воплощений 91-96, в котором содержание кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 3% до 4%.

98. Способ по любому из воплощений 91-97, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

99. Способ по любому из воплощений 91-97, в котором содержание оксида серы в

кислом остаточном газе находится в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

100. Способ согласно воплощению 99, в котором осуществляют сжигание при температуре в интервале от 600°C до 1300°C и получают кислый остаточный газ.

101. Способ согласно любому из воплощений 99-100, дополнительно включающий процесс сжигания остаточного газа с извлеченной серой, при этом продолжительность процесса сжигания составляет от 1 до 6 сек.

102. Способ по любому из воплощений 99-101, в котором содержание кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 2% до 5%.

103. Способ по любому из воплощений 99-102, в котором процесс сжигания осуществляется при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

104. Способ согласно любому из воплощений 99-103, в котором продолжительность процесса сжигания остаточного газа с извлеченной серой составляет от 1,5 до 4 сек.

105. Способ по любому из воплощений 99-104, в котором содержание кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 3% до 4%.

106. Способ по любому из воплощений 99-105, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

107. Способ согласно воплощению 56, дополнительно включающий получение кислого остаточного газа с содержанием кислорода в интервале от 2% до 5%.

108. Способ согласно воплощению 107, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

109. Способ согласно любому из воплощений 107-108, в котором осуществляют сжигание при температуре в интервале от 600°C до 1300°C и получают кислый остаточный газ.

110. Способ согласно любому из воплощений 107-109, в котором продолжительность процесса сжигания остаточного газа с извлеченной серой составляет от 1 до 6 сек.

111. Способ по любому из воплощений 107-110, в котором процесс сжигания осуществляется при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

112. Способ согласно любому из воплощений 107-111, в котором длительность процесса сжигания остаточного газа с извлеченной серой составляет от 1,5 до 4 сек.

113. Способ по любому из воплощений 107-112, в котором содержание кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 3% до 4%.

114. Способ по любому из воплощений 107-113, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

115. Способ согласно воплощению 56, в котором длительность процесса сжигания остаточного газа с извлеченной серой составляет от 1 до 6 сек.

116. Способ согласно воплощению 115, дополнительно включающий получение кислого остаточного газа с содержанием кислорода в интервале от 2% до 5%.

117. Способ по любому из воплощений 115-116, дополнительно включающий получение кислого остаточного газа с содержанием оксида серы в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>.

118. Способ согласно любому из воплощений 115-117, в котором осуществляют сжигание при температуре в интервале от 600°C до 1300°C и получают кислый остаточный газ.

119. Способ согласно любому из воплощений 115-118, в котором сжигание осуществляют при температуре в интервале от 650°C до 950°C.

120. Способ согласно любому из воплощений 115-119, в котором продолжительность процесса сжигания остаточного газа с извлеченной серой находится в интервале от 1,5 до 4 сек.

121. Способ по любому из воплощений 115-120, в котором содержание кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 3% до 4%.

122. Способ по любому из воплощений 115-121, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

123. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает снижение содержания взвешенного вещества до величины не более 200 мг/л в результате десульфуризации на основе аммиака с использованием циркулирующей абсорбирующей жидкости.

124. Способ согласно воплощению 123, в котором процесс извлечения дополнительно включает уменьшение содержания углеводородов до величины не более 100 мг/л в результате десульфуризации на основе аммиака с использованием циркулирующей абсорбирующей жидкости.

125. Способ согласно воплощению 55, в котором процесс извлечения включает уменьшение содержания углеводородов до величины не более 100 мг/л в результате десульфуризации на основе аммиака с использованием циркулирующей абсорбирующей жидкости.

126. Способ согласно воплощению 67, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ с концентрацией органического вещества не более чем 30 ppm.

127. Способ согласно воплощению 67, в котором в процессе регулирования



получают отрегулированный остаточный газ, содержащий элементарную серу и сульфид водорода с концентрацией не более чем 30 ppm.

128. Способ согласно любому из воплощений 126-127, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ с концентрацией органического вещества не более чем 10 ppm.

129. Способ согласно любому из воплощений 126-128, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ, содержащий элементарную серу и сульфид водорода с концентрацией не более чем 10 ppm.

130. Способ согласно воплощению 68, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ, содержащий элементарную серу и сульфид водорода с концентрацией не более чем 30 ppm.

131. Способ согласно воплощению 68, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ, в котором концентрация органического вещества составляет не более чем 30 ppm.

132. Способ согласно любому из воплощений 130 и 131, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ, в котором концентрация органического вещества составляет не более чем 10 ppm.

133. Способ согласно любому из воплощений 130-132, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ, содержащий элементарную серу и сульфид водорода с концентрацией не более чем 10 ppm.

134. Способ по любому из воплощений 55-133, в котором конкретные стадии способа включают следующие:

а) кислый газ очищают путем извлечения серы плюс сжигания или производства серной кислоты или сжигания, или непосредственно с помощью процесса регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге, с получением кислого остаточного газа;

б) кислый остаточный газ направляют в систему регулирования для регулирования величины энтальпии остаточного газа так, чтобы она находилась в интервале от 60 до 850 кДж/кг сухого газа, например, от 80 до 680 кДж/кг сухого газа или от 100 до 450 кДж/кг сухого газа;

с) кислый остаточный газ, величина энтальпии которого удовлетворяет установленным требованиям, направляют на десульфуризацию на основе аммиака для очистки, так чтобы конечный остаточный газ, в результате многоступенчатой абсорбции с использованием циркулирующей абсорбирующей жидкости, соответствовал нормам выбросов вредных веществ.

Таким образом, обеспечены установка и способы очистки кислого газа. Специалистам в данной области техники будет понятно, что настоящее изобретение может быть осуществлено на практике с реализацией примеров, которые отличаются от описанных выше, приведенных лишь в целях иллюстрации, а не ограничения изобретения. Настоящее изобретение ограничивается лишь изложенными ниже пунктами формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка для очистки кислого газа, содержащая систему предварительной очистки кислого газа и систему десульфуризации, использующую аммиак, сообщаемую по текучей среде с указанной системой предварительной очистки кислого газа.

2. Установка по п. 1, в которой система предварительной очистки включает систему извлечения серы и систему сжигания, систему производства серной кислоты и/или систему регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга.

3. Установка по любому из п. 1 или п. 2, в которой система извлечения серы включает систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую одну ступень, две ступени или три ступени, систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе или систему биологического извлечения серы.

4. Установка по любому из пп. 1-3, в которой система извлечения серы дополнительно содержит систему извлечения серы по методу супер-Клауса, систему извлечения серы по методу евро-Клауса, систему биологического извлечения серы или систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе, которые сообщаются по текучей среде с системой извлечения серы по методу Клауса.

5. Установка по любому из пп. 1-4, дополнительно содержащая систему регулирования, которая сообщается по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак, и размещена относительно системы десульфуризации выше по ходу движения потока.

6. Установка по п. 5, в которой система регулирования содержит регулятор температуры, выполненный с возможностью регулирования температуры газа в системе регулирования, и/или регулятор влажности, выполненный с возможностью регулирования влажности газа в системе регулирования.

7. Установка по любому из пп. 1-6, дополнительно содержащая устройство для извлечения серы, устройство для извлечения пыли и/или устройство для извлечения примесей, которые сообщаются по текучей среде с системой десульфуризации, использующей аммиак.

8. Установка по любому из пп. 5-7, в которой система предварительной очистки газа, система регулирования и система десульфуризации, использующая аммиак, соединены последовательно в направлении вниз по ходу движения потока.

9. Установка по любому из пп. 5-8, в которой система регулирования, регулятор температуры, регулятор влажности и устройство для удаления серы соединены

последовательно в направлении вниз по ходу движения потока.

10. Установка по любому из пп. 1-9, в которой система десульфуризации, использующая аммиак, обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости, содержащей аммиак, и содержит систему очистки абсорбирующей жидкости, в состав которой входят устройство концентрации, обеспечивающее прием абсорбирующей жидкости, устройство для разделения жидкости и твердой фазы, выполненное с возможностью улавливания твердых веществ, взвешенных в жидкости, и устройство для осушки, обеспечивающее осушку уловленных и отделенных твердых веществ.

11. Установка по п. 10, в которой система очистки абсорбирующей жидкости дополнительно содержит устройство для очистки раствора, которое сообщается по текучей среде с устройством для разделения жидкости и твердой фазы и расположено при работе установки ниже по ходу движения потока относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

12. Установка по любому из п. 10 и п. 11, в которой система очистки абсорбирующей жидкости дополнительно содержит устройство испарительной кристаллизации, которое сообщается по текучей среде с устройством для концентрации и устройством для разделения жидкости и твердой фазы, и расположено в процессе работы ниже по ходу движения потока относительно устройства для концентрации и выше по потоку относительно устройства для разделения жидкости и твердой фазы.

13. Установка по любому из п. 11 и п. 12, в которой устройство для очистки раствора содержит находящиеся в сообщении по текучей среде устройство для разделения жидкости и твердой фазы, устройство для извлечения углеводородов и/или устройство для извлечения взвешенных веществ.

14. Установка по п. 13, в которой устройство для извлечения взвешенных веществ обеспечивает циркуляцию абсорбирующей жидкости, содержащей взвешенные вещества, концентрация которых не превышает 200 мг/л, предпочтительно находится в интервале от 20 до 100 мг/л и более предпочтительно в интервале от 30 до 50 мг/л.

15. Установка по любому из п. 13 и п. 14, в которой устройство для извлечения углеводородов содержит находящиеся в сообщении по текучей среде устройство для разделения жидкости и твердой фазы, устройство для воздушной флотации, устройство для абсорбции и/или прецизионный фильтр.

16. Установка по любому из пп. 13-15, в которой устройство для извлечения углеводородов обеспечивает получение циркулирующей абсорбирующей жидкости, в которой содержание углеводородов составляет не более 100 мг/л, предпочтительно находится в интервале от 10 до 80 мг/л и более предпочтительно в интервале от 20 до 30

мг/л.

17. Установка по любому из пп. 13-16, в которой устройство для извлечения углеводородов соединено с системой сжигания.

18. Установка по п. 17, в которой устройство для извлечения углеводородов сообщается по текучей среде с системой сжигания, и в рабочих условиях размещено выше по ходу движения потока относительно системы сжигания.

19. Способ очистки кислого газа, включающий прием кислого газа, извлечение из кислого газа сульфата аммония и получение конечного остаточного газа, который удовлетворяет нормам выбросов вредных веществ.

20. Способ по п. 19, в котором указанный процесс извлечения включает извлечение серы из кислого газа с получением остаточного газа с извлеченной серой, и последующее сжигание газа, из которого была извлечена сера.

21. Способ по любому из пп. 19 и 20, в котором указанный процесс извлечения включает получение из кислого газа серной кислоты и/или сжигание.

22. Способ по любому из пп. 19-21, дополнительно включающий транспортирование по трубопроводу кислого газа после проведения химической реакции на нефтехимическом предприятии, химической реакции на газоперерабатывающем предприятии и/или химической реакции на предприятии угольной промышленности.

23. Способ по любому из пп. 19-22, в котором процесс извлечения включает образование отходящего газа регенерации катализатора, используемого в процессе каталитического крекинга, а кислый остаточный газ представляет собой отходящий газ процесса регенерации катализатора.

24. Способ по любому из пп. 19-23, в котором процесс извлечения включает регулирование величины энтальпии кислого остаточного газа.

25. Способ по любому из пп. 19-24, в котором процесс извлечения включает пропускание отрегулированного остаточного газа через ступень охлаждения, ступень абсорбции и ступень промывки водой, при этом все ступени размещены в реакторе десульфуризации, использующем циркулирующий аммиак.

26. Способ по любому из пп. 24-25, в котором процесс регулирования включает изменение температуры кислого остаточного газа и/или влажности кислого остаточного газа и/или дополнительно включает извлечение из кислого остаточного газа серы, пыли и/или примесей.

27. Способ по любому из пп. 24-26, в котором процесс регулирования включает регулирование величины энтальпии остаточного газа до величины в интервале от 60 до 850 кДж/кг сухого газа, предпочтительно от 80 до 680 кДж/кг сухого газа и более

предпочтительно от 100 до 450 кДж/кг сухого газа.

28. Способ по любому из пп. 24-27, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ с содержанием органического вещества не более 30 ppm, предпочтительно не более 10 ppm.

29. Способ по любому из пп. 24-28, в котором в процессе регулирования получают отрегулированный остаточный газ, содержащий элементарную серу и сульфид водорода с содержанием не более 30 ppm, предпочтительно не более 10 ppm.

30. Способ по любому из пп. 24-29, в котором процесс извлечения включает прохождение кислого газа через систему извлечения серы по методу Клауса, содержащую одну ступень, две ступени или три ступени, через систему извлечения серы методом каталитического окисления в жидкой фазе, через систему биологического извлечения серы, через систему извлечения серы по методу супер-Клауса и/или через систему извлечения серы по методу евро-Клауса.

31. Способ по любому из пп. 19-30, в котором получение серной кислоты включает получение серной кислоты методом мокрого катализа и/или производство серной кислоты методом сухого катализа.

32. Способ по любому из пп. 20-31, в котором процесс извлечения включает получение газа с извлеченной серой, в котором молярное отношение  $H_2S/SO_2$  находится в интервале от 1,2 до 3, предпочтительно в интервале от 1,5 до 2,5.

33. Способ по любому из пп. 20-32, в котором осуществляют процесс сжигания при температуре в интервале от 600°C до 1300°C, предпочтительно в интервале от 650°C до 950°C и получают кислый остаточный газ.

34. Способ по любому из пп. 20-33, в котором при сжигании остаточного газа с извлеченной серой продолжительность процесса сжигания находится в интервале от 1 до 6 сек, предпочтительно от 1,5 до 4 сек.

35. Способ по любому из пп. 23-34, в котором концентрация кислорода в кислом остаточном газе находится в интервале от 2% до 5%, предпочтительно в интервале от 3% до 4%.

36. Способ по любому из пп. 23-35, в котором содержание оксида серы в кислом остаточном газе находится в интервале от 2000 мг/Нм<sup>3</sup> до 150000 мг/Нм<sup>3</sup>, предпочтительно в интервале от 5000 мг/Нм<sup>3</sup> до 55000 мг/Нм<sup>3</sup>.

37. Способ по любому из пп. 19-36, в котором процесс извлечения включает снижение содержания взвешенного вещества в циркулирующей абсорбирующей жидкости процесса десульфуризации на основе аммиака предпочтительно до величины не более 200 мг/л.

38. Способ по любому из пп. 19-37, в котором процесс извлечения дополнительно включает снижение содержания углеводородов в циркулирующей абсорбирующей жидкости процесса десульфуризации на основе аммиака предпочтительно до величины не более 100 мг/л.

39. Способ по любому из пп. 23-38, в котором кислый остаточный газ представляет собой остаточный газ, полученный после очистки кислого газа в нефтехимическом, газохимическом, углехимическом производстве, с помощью такого процесса как извлечение серы и сжигание, производство серной кислоты, сжигание, или кислый отходящий газ представляет собой отходящий газ процесса регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге.

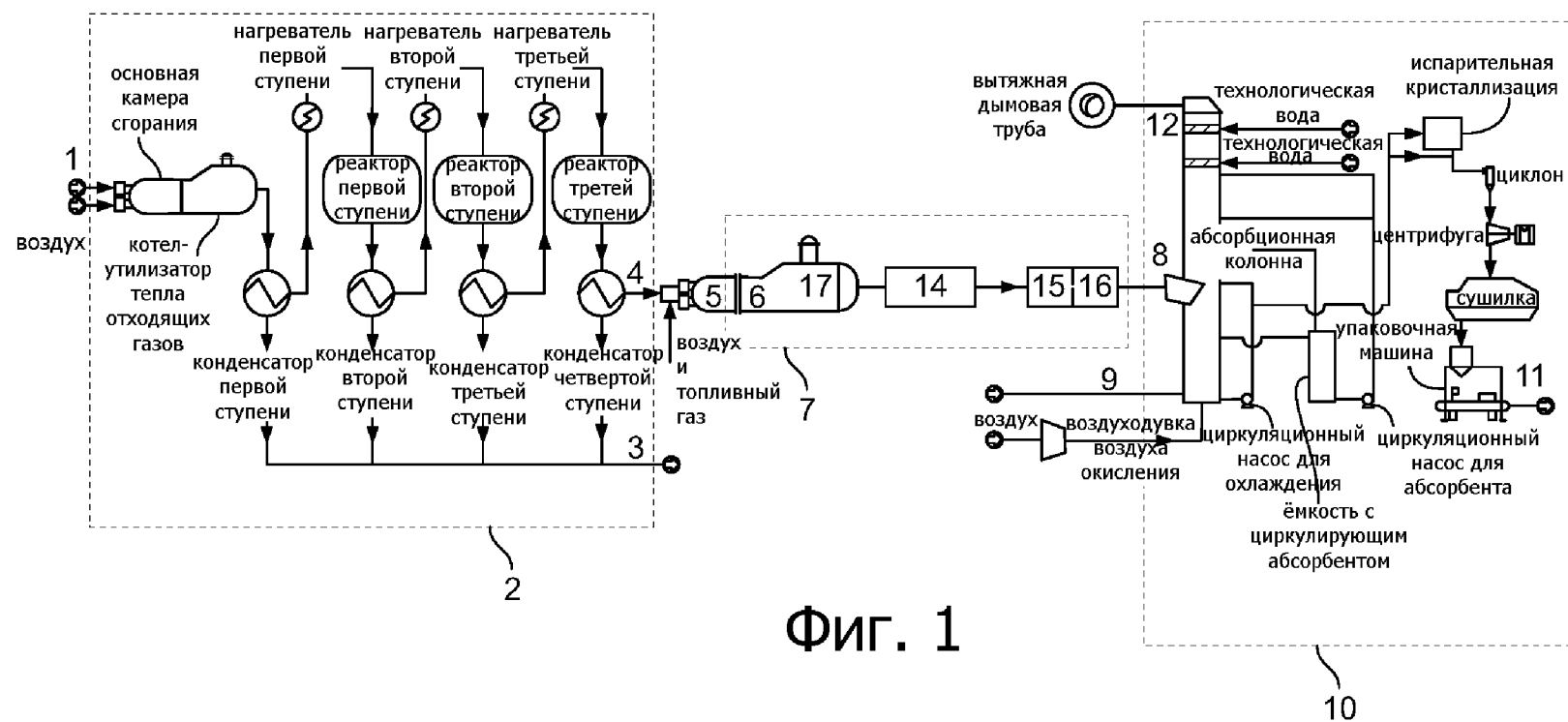
40. Способ по любому из пп. 23-39, в котором сначала регулируют величину энтальпии кислого остаточного газа с помощью системы регулирования, и затем кислый остаточный направляют на десульфуризацию, использующую аммиак.

41. Способ по п. 19, в котором, в котором конкретные стадии способа включают следующие:

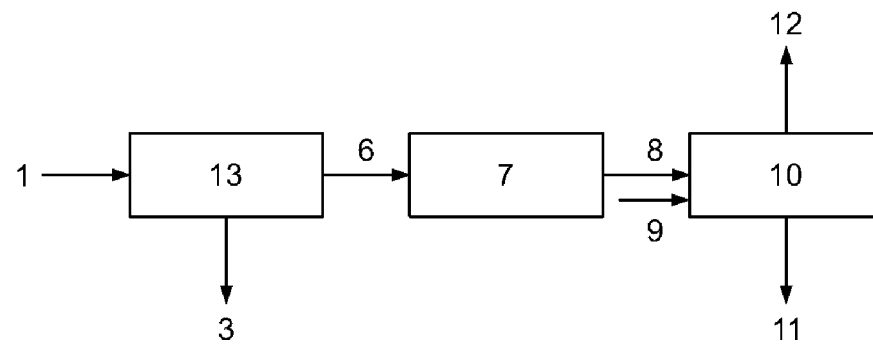
а) кислый газ очищают путем извлечения серы и сжигания или производства серной кислоты или сжигания, или непосредственно с помощью процесса регенерации катализатора, используемого при каталитическом крекинге, с получением кислого остаточного газа;

б) кислый остаточный газ направляют в систему регулирования для регулирования величины энтальпии остаточного газа так, чтобы она находилась в интервале от 60 до 850 кДж/кг сухого газа, например, от 80 до 680 кДж/кг сухого газа или от 100 до 450 кДж/кг сухого газа;

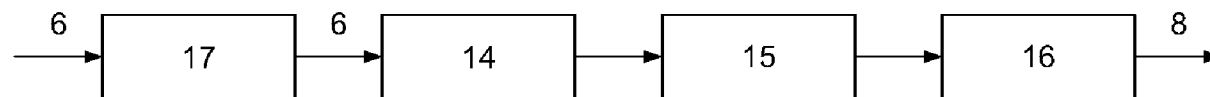
с) кислый остаточный газ, величина энтальпии которого удовлетворяет установленным требованиям, направляют на осуществление процесса десульфуризации на основе аммиака для очистки, так чтобы конечный остаточный газ, в результате многоступенчатой абсорбции с использованием циркулирующей абсорбирующей жидкости, соответствовал нормам выбросов вредных веществ.







Фиг. 2



Фиг. 3