

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034005**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.18

(21) Номер заявки
201990638

(22) Дата подачи заявки
2017.09.19

(51) Int. Cl. **C01B 21/26** (2006.01)
C01B 21/40 (2006.01)
B01D 53/86 (2006.01)

(54) **УСТАНОВКА И СПОСОБ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ**

(31) **16189488.6; 16206640.1**

(32) **2016.09.19; 2016.12.23**

(33) **EP**

(43) **2019.06.28**

(86) **PCT/NL2017/050619**

(87) **WO 2018/052304 2018.03.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СТАМИКАРБОН Б.В. (NL)

(72) Изобретатель:
**Постма Леонардус Хюбертус, Муньос
Лопес Мария Пац, Ворвинден
Мартинус (NL)**

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(56) **CA-A-572124
DE-B3-102008027232
WO-A1-03070634
US-A-3897539**

(57) В изобретении представлена установка, в которой различные ступени работают при разных давлениях, для производства азотной кислоты на основе окисления аммиака. Установка содержит реактор, выполненный с возможностью получения потока газа горелки, секцию охлаждения газа, выполненную с возможностью образования охлажденного газа горелки, секцию конденсации, выполненную с возможностью образования водного конденсата азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота, секцию абсорбции, выполненную с возможностью производства сырой азотной кислоты и остаточного газа, и систему обработки остаточного газа, выполненную с возможностью образования очищенного остаточного газа. В секции нагрева остаточного газа дополнительный теплообменник выполнен с возможностью приема тепла от потока газа горелки, причем указанный дополнительный теплообменник расположен относительно близко к реактору.

B1

034005

034005

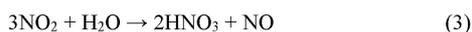
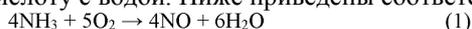
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к установке для производства азотной кислоты с помощью процесса, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях. Изобретение также относится к способу производства азотной кислоты и, в частности, к способу обработки остаточного газа, полученного в процессе, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях, для производства азотной кислоты.

Уровень техники

Приготовление азотной кислоты обычно начинают с окисления аммиака воздухом над катализатором с получением оксида азота (NO). Процесс продолжают окислением NO до диоксида азота (NO₂). Диоксид азота образует азотную кислоту с водой. Ниже приведены соответствующие уравнения реакции



В процессе производства азотной кислоты образование кислоты из диоксида азота происходит в двух случаях. Поток газообразных оксидов азота, полученный в результате окисления аммиака, который также содержит воду, образованную при окислении аммиака, подвергается конденсации. Тем самым часть диоксида азота образует азотную кислоту. Кроме того, оставшийся диоксид азота подвергается абсорбции в воде с завершением образования азотной кислоты. Чтобы водой было поглощено максимальное количество полученного диоксида азота NO₂, абсорбцию обычно осуществляют при повышенном давлении, предпочтительно при давлении от 0,4 до 1,4 МПа (от 4 до 14 бар). В секции абсорбции также добавляется кислород, например, в форме воздуха, чтобы дать возможность оксиду азота (NO) образовать диоксид азота. Непоглощенные оксиды азота (NO и/или NO₂, обычно обозначаемые как NO_x), а также N₂O, образующийся как побочный продукт окисления аммиака, приводят к образованию остаточного газа, который очищают и удаляют в атмосферу обычным способом через дымовую трубу. Общая информация - Behr, A., 2002. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. 6, Wiley-VCH, Weinheim.

Кислород, необходимый для конверсии аммиака, используемого в качестве сырья, обычно поставляют в форме воздуха. Для подачи технологический воздух сжимают в компрессоре и доводят до давления, соответствующего давлению реакции окисления. Необязательно образованный газ NO_x может быть сжат вторым компрессором до подходящего давления для реакции абсорбции.

Современные установки производства азотной кислоты работают под давлением для достижения более высоких концентраций кислоты и более высоких показателей абсорбции NO_x (т.е. лучшей эффективности) при абсорбции. Различают установки с двумя и одной величиной давления. В процессе с одной величиной давления сгорание и абсорбция выполняются при умеренном давлении (< 0,8 МПа (< 8 бар)) или высоком давлении (> 0,8 МПа (> 8 бар)). На установках с двумя величинами давления (когда различные стадии осуществляются при разных давлениях) производство газа, т.е. производство азотистых газов путем окисления аммиака, осуществляется под давлением примерно от 0,4 до 0,6 МПа (примерно от 4 до 6 бар), а абсорбция полученных таким образом азотистых газов водой для получения азотной кислоты обычно осуществляется при 0,8-1,2 МПа (от 8 до 12 бар). Давление создается с помощью компрессоров, которые приводятся в действие газовой и/или паровой турбиной или электродвигателем. Газовая турбина предпочтительно работает, используя энергию отходящего газа установки производства азотной кислоты, используя давление, приложенное по меньшей мере одним компрессором.

Установка по производству азотной кислоты на основе вышеупомянутого окисления аммиака, как правило, содержит следующие секции:

секцию горелки (т.е. реактор, содержащий камеру сгорания), в которой газовая смесь аммиака и воздуха реагирует с образованием потока газа горелки; поток газа горелки содержит диоксид азота, образованный в результате окисления оксида азота, и дополнительно некоторое количество неокисленного оксида азота, закиси азота (N₂O) в качестве побочного продукта, а также, возможно, N₂ в качестве побочного продукта и воду, полученную от окисления аммиака;

секцию охлаждения газа, в которой поток газа горелки подвергается охлаждению с образованием потока охлажденного газа горелки и, как правило, образованием водяного пара;

секцию конденсации, в которой указанный поток охлажденного газа горелки подвергают конденсации с образованием раствора азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота (NO_x);

секцию абсорбции/окисления; в ней поток газообразных оксидов азота подвергается абсорбции в воде с образованием потока сырого продукта азотной кислоты и остаточного газа оксидов азота, содержащего NO_x (оксид азота и диоксид азота), закись азота (N₂O) и, как правило, также N₂ и любой избыток кислорода; предпочтительно в этой секции для газа обеспечивается продолжительность пребывания, позволяющая NO быть дополнительно окисленным до NO₂;

секцию обработки остаточного газа, содержащую зону нагрева остаточного газа, зону удаления газообразных оксидов азота (NO_x и N₂O), зону расширения и зону нагрева, в которой азотистый газ подвергается очистке с образованием очищенного остаточного газа, причем указанный очищенный остаточ-

ный газ подвергается расширению. Таким образом, расширенный очищенный остаточный газ сбрасывается в атмосферу. Расширение производит работу, которую обычно используют для приведения в действие турбины (которая служит наряду с паровой турбиной, использующей водяной пар, генерируемый в процессе, и/или газовой турбиной), для привода одного или более компрессоров. Обычно это относится к воздушному компрессору, используемому для подачи воздуха в процесс окисления, и/или к компрессору NO_x ; эти компрессоры могут быть объединены в одно устройство или, например, представляют собой две разные секции, связанные одним приводным валом.

В целом, процесс производства азотной кислоты генерирует большое количество технологического тепла, и установки для производства азотной кислоты настроены таким образом, чтобы оптимально использовать технологическое тепло и, кроме того, производить водяной пар, который можно экспортировать на другие установки на производственном участке. Таким образом, по мере необходимости теплообмен происходит между различными газовыми потоками как в контуре производства азотной кислоты (т.е. технологическими газами), так и в энергетическом контуре (т.е. водяным паром).

В данной области техники желательно дополнительно улучшить использование энергии на установке по производству азотной кислоты. Также желательно дополнительно снизить содержание азотистых газов, выбрасываемых в атмосферу.

Раскрытие изобретения

Изобретение в одном аспекте обеспечивает установку для производства азотной кислоты, содержащую:

(a) реактор, содержащий по меньшей мере один впуск газа для аммиака и сжатого воздуха, обычно для смеси аммиака и сжатого воздуха, камеру сгорания, снабженную катализатором сгорания аммиака и выполненную с возможностью получения потока газа горелки, содержащего оксиды азота, образующиеся в результате сжигания аммиака и последующего окисления, и выпуск газа для газа горелки;

(b) секцию охлаждения газа, имеющую впуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для газа горелки реактора, причем указанная секция охлаждения газа выполнена с возможностью подвергания потока газа горелки охлаждению с образованием охлажденного газа горелки, при этом секция охлаждения газа содержит теплообменник парового контура, выполненный с возможностью передачи тепла от потока газа горелки к паровому контуру с образованием перегретого водяного пара, и выпуск газа для охлажденного газа горелки;

(c) секцию конденсации, имеющую впуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для охлажденного газа горелки секции охлаждения газа, причем указанная секция конденсации выполнена с возможностью подвергания охлажденного газа горелки конденсации с образованием водного конденсата азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота, при этом указанная секция конденсации имеет выпуск для жидкости для водного конденсата азотной кислоты и выпуск для газа для потока неконденсированных газообразных оксидов азота;

(d) секцию абсорбции, имеющую впуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском газа секции конденсации, причем указанная секция абсорбции выполнена с возможностью подвергания потока газообразных оксидов азота абсорбции в воде, необязательно в форме разбавленного раствора азотной кислоты; при этом указанная секция абсорбции также содержит впуск жидкости, который сообщается по текучей среде с выпуском жидкости секции конденсации, и выпуск газа для остаточного газа;

(e) систему обработки остаточного газа, содержащую секцию нагрева остаточного газа, секцию удаления азотистого газа и секцию расширения, причем указанная система обработки остаточного газа выполнена с возможностью подвергания газообразных оксидов азота очистке с образованием очищенного остаточного газа и подвергания указанного очищенного остаточного газа расширению, при этом указанная секция обработки остаточного газа содержит впуск газа для остаточного газа и выпуск газа для очищенного остаточного газа;

при этом секция нагрева остаточного газа содержит теплообменник, выполненный с возможностью приема тепла от потока газа горелки, причем указанный теплообменник расположен ниже по потоку от теплообменника парового контура и выше по потоку от выпуска газа для охлажденного газа горелки и предпочтительно внутри реактора.

В другом аспекте изобретение представляет способ, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях, получения азотной кислоты, включающий взаимодействие газовой смеси аммиака и воздуха в секции горелки, в результате чего образуется поток газа горелки; охлаждение указанного потока газа горелки в секции охлаждения газа с образованием охлажденного газа горелки; конденсацию указанного потока охлажденного газа горелки в секции конденсации с образованием водного конденсата азотной кислоты и потока конденсированных газообразных оксидов азота; подачу указанного водного конденсата азотной кислоты и указанного потока неконденсированных газообразных оксидов азота в секцию абсорбции/окисления с образованием потока сырого продукта азотной кислоты и остаточного газа; обработку указанного остаточного газа в секции обработки остаточного газа, содержащей секцию нагрева остаточного газа, секцию удаления азотистого газа и секцию расширения, в результате чего образуется очищенный остаточный газ; выпуск указанного очищенного остаточного газа в атмосферу; причем указанный способ включает нагревание остаточного газа в указанной секции охлаждения газа

до температуры, превышающей 460°C.

В еще одном аспекте в изобретении предлагается способ модификации существующей установки для производства азотной кислоты, причем указанная установка содержит части оборудования (а)-(е), как определено выше, при этом модификация включает добавление в секцию нагрева отходящего газа теплообменника, выполненного с возможностью приема тепла от потока газа горелки, причем указанный теплообменник расположен ниже по потоку от теплообменника парового контура, предпочтительно непосредственно ниже по потоку от него, и выше по потоку от выпуска газа для охлажденного газа горелки.

Осуществление изобретения

В широком смысле изобретение основано на разумном осознании возможности непосредственного использования тепла, которое все еще остается после образования перегретого водяного пара, из газа горелки, образованного при сжигании аммиака, для дополнительного повышения температуры остаточного газа оксидов азота, получаемого при производстве азотной кислоты. В частности, тем самым указанный остаточный газ нагревают до температуры, которая выше, чем обычно достигается, а именно выше 460°C, например выше 475°C, например около 485°C.

Это предусматривает несколько преимуществ, которые имеют важное значение в процессе производства азотной кислоты на основе сжигания аммиака и, в частности, в процессе, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях. В процессе, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях, вышеупомянутая секция абсорбции работает под давлением, которое обычно выше, чем в реакторе. Для достижения такого давления обычно предусмотрен компрессор. Такой компрессор может приводиться в действие работой, доступной от расширения остаточного газа. В настоящем изобретении повышенная температура остаточного газа приводит к увеличению кинетической энергии, доступной при расширении такого остаточного газа, что приводит к более энергоэффективному приведению в действие компрессора. Обычно, таким образом, воздух, обычно нагретый и отфильтрованный, сжимается до, например, 0,5 МПа (5 бар) в секции турбокомпрессорного оборудования. Турбокомпрессорное оборудование установок производства азотной кислоты, в которых различные стадии осуществляются при разных давлениях, состоит из осевого воздушного компрессора, радиального компрессора NO_x , детандера остаточного газа и паровой турбины.

Изобретение относится к новой компоновке секции обработки остаточных газов установки для производства азотной кислоты, а также к новой обработке остаточных газов в способе производства азотной кислоты. Далее это дополнительно обсуждается со ссылкой на различные секции такой установки и соответствующие стадии способа.

Новая обработка остаточного газа применима к способу изобретения, а также к применяемой таким образом установке. В целом, следует отметить, что новая модификация изобретения относится к секции установки производства азотной кислоты, в которой охлаждается газ горелки, получаемый при сжигании аммиака, и к ее объединению с обработкой остаточного газа. Помимо этой новой модификации установка для производства азотной кислоты может иметь обычную компоновку, и такие установки могут быть построены и применяться специалистами в данной области без дополнительного пояснения. В частности, установка выполнена в виде установки, в которой различные стадии осуществляются при разных давлениях, позволяющей реактору и секции абсорбции работать при разных давлениях, обычно 0,4-0,6 МПа (4-6 бар) в реакторе и 1,0-1,5 МПа (10-15 бар) в секции абсорбции. Как объяснено выше, при эксплуатации такой установки повышение температуры остаточного газа является дополнительным преимуществом. В представляющем интерес варианте осуществления реактор и, необязательно, часть секции охлаждения газа работают при более низком давлении, чем секция абсорбции/окисления и секция обработки остаточного газа.

Реактор может представлять собой любой подходящий реактор для окисления аммиака. Реактор содержит по меньшей мере один впуск газа для аммиака и сжатого воздуха. Это может быть один впуск для аммиака и воздуха, которые были смешаны до входа в реактор, это может быть один впуск для чередующейся подачи аммиака и сжатого воздуха. Также реактор может иметь отдельные впуски для аммиака и сжатого воздуха. Такой реактор, включая системы из более чем одного реактора, такие как расположенные параллельно, иногда называют горелкой аммиака, секцией сжигания аммиака, реактором сжигания аммиака и т.п. В частности, реактор содержит кожух горелки, газораспределитель, по меньшей мере одну каталитическую сетку или множество каталитических сеток и, необязательно, корзину. Как правило, реактор будет содержать камеру сгорания, в которую помещен подходящий катализатор. Катализаторы для окисления аммиака известны специалисту и обычно содержат благородный металл. Типичным способом обеспечения катализатора является использование одной или более проволочных сеток, таких как стопка проволочных сеток, размещенных внутри реактора, например в камере сгорания. Предпочтительный металлический катализатор представляет собой комбинацию платины и родия, такую как стопка из платино-родиевых сеток, например, выполненную методом вязания тонких проволок. Реактор содержит обычное рабочее оборудование. Реактор содержит впуск газа для аммиака и впуск газа для сжатого воздуха и выполнен с возможностью получения потока газа горелки, содержащего оксиды азота, образующиеся в результате сжигания аммиака. Соответствующее оборудование хорошо известно в данной

области. При работе реактор служит для выполнения химических реакций согласно уравнениям (1) и (2) выше. Также возможно, что сам реактор служит для производства NO, тогда как последующее окисление NO до NO₂ выполняется ниже по потоку от реактора.

Термин "ниже по потоку" используется в связи с порядком химических событий в процессе производства азотной кислоты. Т.е. образование NO₂ происходит ниже по потоку относительно окисления аммиака до NO, а образование HNO₃ происходит ниже по потоку относительно окисления NO до NO₂.

Ниже по потоку относительно реактора, необязательно посредством дополнительного оборудования, такого как установка для окисления оксида азота до диоксида азота, предусмотрена секция охлаждения газа. Указанная установка для окисления может, например, функционировать, обеспечивая продолжительность пребывания газа NO_x, позволяющую NO превращаться в NO₂. Эта секция имеет выпуск газа, который сообщается по текучей среде (прямо или косвенно) с выпуском для газа горелки реактора. Секция охлаждения газа может иметь обычную компоновку, например, содержащую один или более кожухотрубных теплообменников. Теплообменники выполнены с возможностью теплопередающего контакта между потоком газа, возникающим в результате химической конверсии в установке (т.е. потоком технологического газа), и рабочей средой, обычно водой или водяным паром, обычно предоставляемой в виде отдельной системы или контура потока на установке. Этот теплообменник называется теплообменником парового контура. Секция охлаждения газа может содержать один или более таких теплообменников парового контура. Теплообмен с паровым контуром обычно используют для формирования перегретого водяного пара, и один или более теплообменников иногда также называют перегревателем. В представляющем интерес варианте осуществления секция охлаждения газа дополнительно содержит третий теплообменник, который представляет собой паровой испаритель для выработки водяного пара, и четвертый теплообменник, который представляет собой экономайзер.

Поток технологического газа, охлажденный в результате работы теплообменника, на выходе секции охлаждения газа называется охлажденным газом горелки, для которого секция охлаждения газа имеет выпуск газа, который прямо или косвенно сообщается по текучей среде со следующей секцией ниже по потоку, а именно секцией конденсации.

Секция конденсации, таким образом, имеет выпуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для охлажденного газа горелки секции охлаждения газа. В процессе производства азотной кислоты на основе окисления аммиака газовый поток, возникающий в результате окисления, т.е. газ горелки, обязательно будет содержать воду, которая образуется в результате реакции аммиака и кислорода. Следует понимать, что диоксид азота образует в воде азотную кислоту. Секция конденсации выполнена с возможностью происхождения этого путем конденсации охлажденного газа горелки, который содержит пары воды. В результате этой конденсации образуется водный конденсат азотной кислоты, который обычно называют слабой азотной кислотой. Что касается условий конденсации паров воды, следует понимать, что виды и количества газов, которые не участвуют в образовании водного конденсата азотной кислоты, будут оставаться в газовой фазе. Это относится, в частности, к неконденсированным оксидам азота, содержащим любой избыток диоксида азота, оксиду азота, включающему оксид азота, образовавшийся в результате реакции между диоксидом азота и водой, а также любому изначально присутствующему неокисленному оксиду азота и закиси азота. Конденсатор соответственно имеет выпуск жидкости для водного конденсата азотной кислоты и выпуск газа для потока неконденсированных газообразных оксидов азота. Секция конденсации может представлять собой обычное конденсационное устройство, например кожухотрубный конденсатор.

В представляющем интерес варианте осуществления секция конденсации содержит секцию конденсации низкого давления и секцию конденсации высокого давления, причем поток азотистого газа, выходящий из секции конденсации низкого давления, сжимается перед подачей в секцию конденсации высокого давления.

Тем самым предпочтительно используется детандер, который имеет преимущество снижения расхода водяного пара. Детандер связан с компрессором, который служит для повышения давления в секции конденсации. Соответственно секция конденсации низкого давления содержит нагреватель остаточного газа и охладитель/конденсатор низкого давления. Поток оксидов азота, выходящий из секции низкого давления, направляется через компрессор в секцию конденсации высокого давления. Этот компрессор расположен между секцией охлаждения газа (секцией охлаждения/конденсации низкого давления) и секцией конденсации высокого давления. Секция конденсации высокого давления содержит охладитель газообразных оксидов азота высокого давления и охладитель/конденсатор высокого давления. Поток продукта-кислоты, выходящий из секции конденсации высокого давления, направляется в секцию абсорбции/окисления.

Предпочтительно охлажденный газ горелки, поступающий в секцию конденсации, имеет температуру от 170 до 190°C, например 180°C.

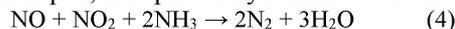
Чтобы завершить образование азотной кислоты также на основе избытка диоксида азота, не конденсированного с водой, поток газообразных оксидов азота, полученный из конденсатора, впоследствии подвергают абсорбции в подходящей водной жидкости. Перед абсорбцией для этого газа предпочтительно обеспечивается продолжительность пребывания, позволяющая NO быть далее окисленным в NO₂.

Водная жидкость может быть водой как таковой, но она также может быть разбавленным раствором азотной кислоты. В последнем случае в результате абсорбции диоксида азота разбавленный раствор азотной кислоты станет более концентрированным раствором азотной кислоты. Предпочтительно тепло абсорбции отводится охлаждающей водой, обычно на тарелках абсорбционной колонны. Абсорбция выполняется в секции абсорбции. Эта секция имеет соответственно впуск газа, который прямо или косвенно сообщается по текучей среде с выпуском газа секции конденсации. Следует понимать, что при абсорбции в воде диоксида азота образуется азотная кислота. В способе производства азотной кислоты, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях, эта секция работает под давлением, как правило, 1,0-1,4 МПа (10-14 бар). Понятие "при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях" указывает, что в способе производства используются разные давления в реакторе (например, 0,4-0,6 МПа (4-6 бар)) и в секции абсорбции. Секция абсорбции, которая обычно содержит абсорбционную колонну, предпочтительно функционирует также как секция окисления, чтобы обеспечить возможность образования дополнительного диоксида азота из оксида азота, который неизбежно присутствует, например, в результате реакции между диоксидом азота и водой. С этой целью, например, поток вторичного воздуха вводится в абсорбционную колонну для повторного окисления NO, который образуется во время реакции (3). Этот вторичный воздух также удаляет NO₂ из продукта-кислоты.

Водный конденсат азотной кислоты, полученный в конденсаторе, прямо или косвенно подается в секцию абсорбции. Для этого секция абсорбции содержит впуск жидкости, который сообщается по текучей среде с выпуском жидкости секции конденсации. Секция абсорбции, такая как секция абсорбции/окисления, производит поток сырого продукта азотной кислоты и остаточный газ оксидов азота. Остаточный газ содержит NO_x (неокисленный оксид азота и не вступивший в реакцию диоксид азота) и закись азота (N₂O). Соответственно секция абсорбции содержит выпуск газа для остаточного газа оксидов азота.

Следует понимать, что остаточный газ представляет собой постоянную проблему как по экономическим, так и по экологическим соображениям. По экономическим соображениям было бы желательно, чтобы любое количество оксида азота было превращено в диоксид азота, чтобы любое количество диоксида азота было превращено в азотную кислоту и чтобы количество закиси азота было как можно ниже. По экологическим соображениям будет сразу понятно, что желательно максимально сократить количество оксидов азота, которые будут выбрасываться в атмосферу.

Обработка остаточного газа обычно включает нагревание остаточного газа и подвергание его каталитическому восстановлению. Соответственно остаточные газы реагируют с аммиаком под воздействием катализатора, такого как катализатор из благородного металла, согласно уравнению реакции 4 в условиях образования азота и водяных паров, которые могут быть безопасно выпущены в атмосферу



Повышенная температура остаточного газа, выпускаемого установкой изобретения, получаемого по способу изобретения, имеет то преимущество, что для каталитической конверсии можно использовать меньшее количество катализатора. В результате оборудование, необходимое для обработки остаточного газа, может быть меньшим, что имеет ряд преимуществ, таких как снижение капитальных и эксплуатационных расходов, а также тот факт, что не требуется использование природного газа.

В представляющем интерес варианте осуществления изобретения более высокая энергоэффективность достигается за счет того, что остаточный газ проходит по меньшей мере три зоны теплообмена. Соответственно теплообмен происходит

в секции охлаждения газа между потоком газа горелки, поступающим из реактора, и остаточным газом, поступающим из секции конденсации;

в секции обработки остаточного газа между потоком остаточного газа, поступающего из секции охлаждения газа, и остаточным газом, поступающим из абсорбционной/окислительной колонны;

в секции конденсации между потоком газообразных оксидов азота, поступающим из секции охлаждения газа, и потоком остаточного газа, поступающим из секции обработки остаточного газа.

Не желая быть связанными какой-либо теорией, авторы изобретения полагают, что более высокая энергетическая эффективность, как описано выше, является результатом следующего. Настоящая конфигурация обеспечивает оптимальный теплообмен, что приводит к большему количеству вырабатываемого водяного пара, в то время как на охлаждающую воду теряется меньше тепла. Из-за более высокой температуры остаточного газа, выходящего из системы очистки остаточного газа (снижение выброса NO_x), детандер может генерировать больше энергии. В результате теплообмена между остаточным газом, поступающим из детандера, и остаточным газом, поступающим из секции абсорбции/окисления, остаточный газ, направляемый в трубу, имеет более низкую температуру.

Кроме того, в изобретении повышенная температура остаточного газа делает снижение выброса NO_x более эффективным. Для достижения низких количеств N₂O добавления вспомогательного природного газа в систему снижения выбросов N₂O/NO_x не требуется.

Кроме того, остаточный газ, выходящий из теплообменника в секции горелки, имеет более высокую температуру из-за близкого расположения упомянутого теплообменника к перегревателю.

В этом отношении в предпочтительном варианте осуществления установки изобретения реактор, теплообменник парового контура и дополнительный теплообменник объединены в одно устройство.

Следует понимать, что единое устройство, в которое объединены реактор и указанные теплообменники, относится к оборудованию, в котором объединенные части ограничены, т.е. содержатся в одном ограничении, как правило, в одном корпусе, причем в указанном корпусе предусмотрены соответствующие впуски и выпуски для газов и жидкостей.

В другом представляющем интерес варианте осуществления теплообменники предусмотрены в виде двух устройств. Это способствует уменьшению высоты оборудования.

Остаточный газ покидает указанный теплообменник при более высокой температуре. Система снижения выбросов N_2O/NO_x работает при более высокой температуре, поэтому детандер работает с более высоким КПД. В частности, детандер вырабатывает больше энергии при более высокой температуре, чем в случае работы при более низкой температуре. Остаточный газ, выходящий из детандера, направляется в нагреватель, нагретый остаточный газ направляется в секцию конденсации, а охлажденный остаточный газ направляется в трубу.

Типичное достижимое содержание остаточного газа:

выбросы NO_x : 20 ч./млн (максимум 25 ч./млн),

выбросы N_2O : 20 ч./млн (максимум 100 ч./млн).

Сеть теплообменника приводит к низкой температуре на входе в секцию конденсации (ниже $180^\circ C$, предпочтительно ниже $170^\circ C$, например $165^\circ C$). Это имеет преимущество в предотвращении коррозии в результате конденсации/повторного испарения.

Кроме того, газообразные оксиды азота, поступающие в секцию конденсации, имеют более низкую температуру, что позволяет избежать коррозии в секции конденсации.

Благодаря конструкции теплообменника площадь теплообмена может быть уменьшена, а имеющиеся разности температур используются более оптимально.

Теплообменник (азотистый газ - остаточный газ) в секции охлаждения газа предпочтительно представляет собой вертикальный теплообменник. Вертикальное размещение означает, что при запуске в трубах не остается кислоты, поэтому существует минимальный риск коррозии из-за самодренажа в трубах вертикального теплообменника.

Более высокая температура газа NO_x , поступающего в охладитель/конденсатор низкого давления, предотвращает конденсацию/повторное испарение на входе теплообменника в секции конденсации.

В целом, изобретение обеспечивает установку, в которой различные ступени работают при разных давлениях, для производства азотной кислоты на основе окисления аммиака. Установка содержит реактор, выполненный с возможностью получения потока газа горелки; секцию охлаждения газа, выполненную с возможностью образования охлажденного газа горелки; секцию конденсации, выполненную с возможностью образования водного конденсата азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота; секцию абсорбции, выполненную с возможностью производства сырой азотной кислоты и остаточного газа; и систему обработки остаточного газа, выполненную с возможностью образования очищенного остаточного газа. В секции нагрева остаточного газа дополнительный теплообменник выполнен с возможностью приема тепла от потока газа горелки, причем указанный дополнительный теплообменник расположен относительно близко к реактору. Способ изобретения предпочтительно представляет собой процесс, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях, со встроенным нагревателем остаточного газа непосредственно под перегревателем пара в том же реакторе. Расположение нагревателя остаточного газа в сочетании с более высокой температурой остаточного газа, поступающего в систему де- NO_x (т.е. в систему удаления оксидов азота), приводит к следующим преимуществам: хорошее удаление в де- NO_x без необходимости в метане в де- NO_x (который используется в уровне техники, например, US 7393512), более компактное оборудование, больше отводимого водяного пара, низкий уровень выбросов, более высокое извлечение энергии из расширения. Еще одним преимуществом является снижение интенсивности коррозии. В частности, несмотря на обеспечение оптимально низких выбросов NO_x , способ в соответствии с изобретением обеспечивает оптимально высокую энергоэффективность.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка для производства азотной кислоты, содержащая:

(a) реактор, содержащий по меньшей мере один выпуск газа для аммиака и сжатого воздуха, камеру сгорания, снабженную катализатором сгорания аммиака и выполненную с возможностью получения потока газа горелки, содержащего оксиды азота, образующиеся в результате сжигания аммиака и последующего окисления, и выпуск газа для газа горелки;

(b) секцию охлаждения газа, имеющую выпуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для газа горелки реактора, причем указанная секция охлаждения газа выполнена с возможностью подвергания потока газа горелки охлаждению с образованием охлажденного газа горелки, при этом секция охлаждения газа содержит теплообменник парового контура, выполненный с возможностью переда-

чи тепла от потока газа горелки к паровому контуру с образованием перегретого водяного пара, и выпуск газа для охлажденного газа горелки;

(с) секцию конденсации, имеющую впуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для охлажденного газа горелки секции охлаждения газа, причем указанная секция конденсации выполнена с возможностью подвергания охлажденного газа горелки конденсации с образованием водного конденсата азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота, при этом указанная секция конденсации имеет выпуск жидкости для водного конденсата азотной кислоты и выпуск газа для потока неконденсированных газообразных оксидов азота;

(d) секцию абсорбции, имеющую впуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для газа секции конденсации, причем указанная секция абсорбции выполнена с возможностью подвергания потока газообразных оксидов азота абсорбции в воде, необязательно в форме разбавленного раствора азотной кислоты; при этом указанная секция абсорбции также содержит впуск жидкости, который сообщается по текучей среде с выпуском жидкости секции конденсации, выпуск газа для остаточного газа оксидов азота;

(е) систему обработки остаточного газа, содержащую секцию нагрева остаточного газа, секцию удаления азотистого газа и секцию расширения, причем указанная система обработки остаточного газа выполнена с возможностью подвергания газообразных оксидов азота очистке с образованием очищенного остаточного газа и подвергания указанного очищенного остаточного газа расширению, при этом указанная секция обработки остаточного газа содержит впуск газа для остаточного газа оксидов азота и выпуск газа для очищенного остаточного газа; причем секция нагрева остаточного газа содержит дополнительный теплообменник, выполненный с возможностью приема тепла от потока газа горелки, при этом указанный дополнительный теплообменник расположен ниже по потоку от теплообменника парового контура и выше по потоку от выпуска газа для охлажденного газа горелки, и при этом реактор, теплообменник парового контура и дополнительный теплообменник объединены в одно устройство.

2. Установка по п.1, выполненная в виде установки, в которой различные ступени работают при разных давлениях, позволяющей реактору и необязательно части секции охлаждения газа работать при более низком давлении, чем секция абсорбции/окисления и секция обработки остаточного газа.

3. Установка по п.1 или 2, содержащая по меньшей мере три зоны теплообмена для газообразных оксидов азота

зону теплообмена в секции охлаждения газа, выполненную с возможностью теплообмена между газом горелки из реактора и остаточным газом, поступающим из секции конденсации;

зону теплообмена в секции обработки остаточного газа, выполненную с возможностью теплообмена между остаточным газом, поступающим из секции охлаждения газа, и остаточным газом, поступающим из абсорбционной/окислительной колонны;

зону теплообмена в секции конденсации, выполненную с возможностью теплообмена между потоком газообразных оксидов азота, поступающим из секции охлаждения газа, и потоком остаточного газа, поступающим из секции обработки остаточного газа.

4. Установка по любому из пп.1-3, в которой секция охлаждения газа дополнительно содержит третий теплообменник, который представляет собой паровой испаритель для выработки водяного пара, и четвертый теплообменник, который представляет собой экономайзер.

5. Установка по любому из пп.1-4, в которой секция конденсации содержит секцию конденсации низкого давления и секцию конденсации высокого давления, причем поток азотистого газа, выходящий из секции конденсации низкого давления, сжимается перед подачей в секцию конденсации высокого давления.

6. Способ, при котором различные его стадии осуществляются при разных давлениях, для получения азотной кислоты, осуществляемый в установке по п.1, в котором осуществляют взаимодействие газовой смеси аммиака и воздуха в секции горелки, в результате чего образуется поток газа горелки; осуществляют охлаждение указанного потока газа горелки в секции охлаждения газа с образованием охлажденного газа горелки; осуществляют конденсацию указанного потока охлажденного газа горелки в секции конденсации с образованием водного конденсата азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота; осуществляют подачу указанного водного конденсата азотной кислоты и указанного потока неконденсированных газообразных оксидов азота в секцию абсорбции/окисления с образованием потока сырого продукта азотной кислоты и остаточного газа; осуществляют обработку указанного остаточного газа в секции обработки остаточного газа, содержащей секцию нагрева остаточного газа, секцию удаления азотистого газа и секцию расширения, в результате чего образуется очищенный остаточный газ; выпускают указанный очищенный остаточный газ в атмосферу; причем в указанном способе осуществляют нагревание остаточного газа в указанной секции охлаждения газа до температуры, превышающей 460°C.

7. Способ по п.6, который осуществляют на установке по любому из пп.1-5.

8. Способ по п.6 или 7, в котором поток охлажденного газа горелки, поступающий в секцию конденсации, имеет температуру от 170 до 190°C.

9. Способ модификации уже существующей установки для производства азотной кислоты, которая

содержит:

(а) реактор, содержащий выпуск газа для аммиака и выпуск газа для сжатого воздуха, камеру сгорания, снабженную катализатором сгорания аммиака и выполненную с возможностью получения потока газа горелки, содержащего оксиды азота, образующиеся в результате сжигания аммиака и последующего окисления, и выпуск газа для газа горелки;

(b) секцию охлаждения газа, имеющую выпуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для газа горелки реактора, причем указанная секция охлаждения газа выполнена с возможностью подвергания потока газа горелки охлаждению с образованием охлажденного газа горелки, при этом секция охлаждения газа содержит теплообменник парового контура, выполненный с возможностью передачи тепла от потока газа горелки к паровому контуру с образованием перегретого водяного пара, и выпуск газа для охлажденного газа горелки;

(с) секцию конденсации, имеющую выпуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском для охлажденного газа горелки секции охлаждения газа, причем указанная секция конденсации выполнена с возможностью подвергания охлажденного газа горелки конденсации с образованием водного конденсата азотной кислоты и потока неконденсированных газообразных оксидов азота, при этом указанная секция конденсации имеет выпуск жидкости для водного конденсата азотной кислоты и выпуск газа для потока неконденсированных газообразных оксидов азота;

(d) секцию абсорбции, имеющую выпуск газа, который сообщается по текучей среде с выпуском газа секции конденсации, причем указанная секция абсорбции выполнена с возможностью подвергания потока газообразных оксидов азота абсорбции в воде; при этом указанная секция абсорбции также содержит выпуск жидкости, который сообщается по текучей среде с выпуском жидкости секции конденсации, и выпуск газа для остаточного газа оксидов азота;

(е) систему обработки остаточного газа, содержащую секцию нагрева остаточного газа, секцию удаления азотистого газа и секцию расширения, причем указанная система обработки остаточного газа выполнена с возможностью подвергания газообразных оксидов азота очистке с образованием очищенного остаточного газа и подвергания указанного очищенного остаточного газа расширению, при этом указанная секция обработки остаточного газа содержит выпуск газа для остаточного газа оксидов азота и выпуск газа для очищенного остаточного газа;

причем модификация предназначена для получения установки для производства азотной кислоты по п.1 и включает операцию, при которой осуществляют добавление в секцию нагрева остаточного газа теплообменника, выполненного с возможностью приема тепла от потока газа горелки, при этом указанный теплообменник расположен ниже по потоку от теплообменника парового контура и выше по потоку от выпуска газа для охлажденного газа горелки.

