

### Область техники

Настоящее изобретение относится к способу удаления газообразных загрязнителей из отходящих газов, в котором газообразные загрязнители реагируют с мелкозернистым реагентом с образованием в реакторе с псевдоожиженным слоем твердых материалов, и к соответствующей установке.

### Уровень техники

Такие способы и установки используются, например, для удаления кислых газов, таких как  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HF}$  и  $\text{HCl}$ , из потоков дымовых газов установок с применением горения, таких как электростанции, установки для сжигания отходов и специальных отходов или установки для какого-либо другого теплогенерирующего процесса, например производства алюминия в электролитических камерах. Для этой цели было разработано множество различных мокрых, сухих и квазисухих способов, в которых удаление кислых компонентов производится путем добавления щелочных реагентов. В случае сухих способов используют способы с захваченным слоем и с псевдоожиженным слоем, в особенности способы с циркулирующим псевдоожиженным слоем типа Вентури.

По сравнению со стационарными псевдоожиженными слоями циркулирующие псевдоожиженные слои характеризуются лучшими условиями массо- и теплопереноса благодаря их более высокой степени псевдоожижения и допускают использование суспензионного теплообменника, но имеют ограничение в том, что касается времени удерживания твердых материалов. В частности, в случае флюктуирующих количеств отходящего газа это приводит к проблемам контроля. К недостаткам относится также и большое падение давления, а в некоторых случаях - низкая степень использования реагента.

### Краткое описание изобретения

Таким образом, целью настоящего изобретения является улучшение условий массо- и теплопереноса и конверсии реагента при сухой очистке отходящего газа.

Согласно изобретению эта цель достигается с использованием упомянутого выше способа, в котором отходящий газ вводится снизу через преимущественно по центру расположенную газоподводящую трубу (центральную трубу) в смесительное пространство реактора, причем центральная труба, по крайней мере, частично окружена стационарным кольцевым псевдоожиженным слоем реагента, который псевдоожижается подводимым псевдоожижающим газом и в котором объемные скорости отходящего газа и псевдоожижающего газа для кольцевого псевдоожиженного слоя регулируют таким образом, чтобы число Фруда для частиц было в центральной трубе в пределах от 1 до 100, в кольцевом псевдоожиженном слое от 0,02 до 2 и в смесительном пространстве от 0,3 до 30.

В случае очистки отходящего газа с использованием способа изобретения преимущества стационарного псевдоожиженного слоя, такие как достаточно большое время удерживания реагента, и преимущества циркулирующего псевдоожиженного слоя, такие как хороший массо- и теплоперенос, могут быть, неожиданным образом, объединены между собой при одновременном устраниении недостатков обеих систем. При прохождении через верхнюю зону центральной трубы отходящий газ увлекает реагент из кольцевого стационарного псевдоожиженного слоя, далее называемого кольцевым псевдоожиженным слоем, в смесительное пространство, в результате чего, благодаря высоким скоростям скольжения между реагентом и отходящим газом образуется интенсивно перемешиваемая суспензия и между двумя фазами возникают оптимальные условия для реакции. Регулируя соответствующим образом высоту слоя в кольцевом псевдоожиженном слое, а также объемные скорости отходящего газа и псевдоожижающего газа, можно в широких пределах варьировать содержание реагента (содержание твердого материала) в суспензии над зоной отверстия центральной трубы, благодаря чему падение давления отходящего газа между зоной отверстия центральной трубы и верхним выходом смесительного пространства может составлять от 1 до 100 мбар. В случае высокого содержания реагента в суспензии в смесительном пространстве большая часть реагента и/или образовавшихся при реакции твердых материалов будет осаждаться из суспензии и возвращаться в кольцевой псевдоожиженный слой. Такую рециркуляцию называют внутренней рециркуляцией твердых материалов. При этом массовый поток твердых материалов/реагента, циркулирующий при этой внутренней циркуляции, как правило, значительно превышает количество реагента, подаваемого в реактор извне. Не осевшие твердые материалы или реагент (меньшая часть) выводятся из смесительного пространства вместе с отходящим газом. Путем подборки высоты и площади (поперечного сечения) кольцевого псевдоожиженного слоя время удерживания твердых материалов и реагента в реакторе может варьироваться в широких пределах и быть адаптированным для желаемой реакции. Благодаря высокому содержанию твердых материалов, с одной стороны, и хорошим условиям реакции, с другой стороны, создаются прекрасные условия для стехиометрического расхода реагента над зоной отверстия центральной трубы. Твердые материалы и реагент, увлекаемые из реактора потоком газа полностью или, по крайней мере, частично рециркулируют в реактор, причем рециркуляцию целесообразно направлять в стационарный псевдоожиженный слой. Наряду с прекрасным использованием энергии способ согласно изобретению обладает еще одним преимуществом, которое состоит в достижении очень низких концентраций загрязнителя в чистом газе при почти стехиометрическом расходе реагента, благодаря чему способ может быть быстро, легко и надежно адаптирован к предъявляемым требованиям.

С целью обеспечения особенно эффективного массопереноса в смесительном пространстве и достаточного времени удерживания в реакторе объемные скорости отходящего газа и псевдоожижающего газа

регулируют преимущественно таким образом, чтобы безразмерное число Фруда для частиц ( $Fr_p$ ) было в центральной трубе в пределах от 20 до 90, в кольцевом псевдоожиженном слое от 0,2 до 2 и/или в смесительном пространстве от 3 до 15. Каждое из чисел Фруда для частиц определяется следующим уравнением:

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f) * d_p * g}{\rho_f}}}$$

где  $u$  - эффективная скорость потока отходящего газа, м/с,

$\rho_s$  - плотность твердой частицы (реагента), кг/м<sup>3</sup>,

$\rho_f$  - эффективная плотность псевдоожижающего газа, кг/м<sup>3</sup>,

$d_p$  - средний диаметр (м) содержащихся в реакторе частиц (или образовавшихся частиц) во время работы реактора,

$g$  - гравитационная постоянная, м/с<sup>2</sup>.

При использовании этого уравнения следует учитывать, что  $d_p$  обозначает не средний диаметр ( $d_{50}$ ) используемого материала, а средний диаметр содержимого реактора, образовавшегося при работе реактора, который может значительно отличаться в обе стороны от среднего диаметра используемого материала (первичных частиц). Даже из очень тонко гранулированного материала со средним диаметром от 3 до 10  $\mu\text{m}$  в процессе термической обработки могут, например, образоваться частицы (вторичные частицы) со средним диаметром от 20 до 30  $\mu\text{m}$ . С другой стороны, некоторые первичные частицы при термической обработке растрескиваются.

Согласно одному из вариантов изобретения предлагается отрегулировать высоту слоя реагента в реакторе таким образом, чтобы кольцевой псевдоожиженный слой выступал за пределы верхнего открытого конца центральной трубы, например на несколько сантиметров, благодаря чему реагент будет непрерывно вводиться в отходящий газ и увлекаться газовым потоком в смесительное пространство, расположенное над зоной отверстия центральной трубы. Таким путем над зоной отверстия центральной трубы достигается особенно высокое содержание в суспензии твердых материалов/реагента.

Способ согласно изобретению может быть, в частности, использован для очистки отходящего газа, содержащего диоксид серы, фтористый водород и/или хлористый водород, где в качестве реагента подается, в частности, оксид алюминия, карбонат натрия и/или соединения кальция, например гашеная или негашеная известь. Размер зерна по крайней мере большей части подаваемого реагента предпочтительно меньше 100  $\mu\text{m}$ .

Согласно другому аспекту предлагаемого способа отходящий газ перед его подачей в реактор может быть подвергнут обеспыливанию с тем, чтобы получить четко определенные условия реакции.

Согласно способу изобретения твердые материалы и возможно реагент, образующиеся при реакции отходящего газа с циркулирующим реагентом, после реакции в реакторе частично выводятся из реактора вместе с потоком отходящего газа и подаются по меньшей мере в один сепаратор. Отделенные в этом сепараторе твердые материалы так же, как и реагент, целиком или частично рециркулируют в кольцевой псевдоожиженный слой и/или смесительное пространство реактора, либо в определенном количестве выводятся. Внутри сепаратора, который, в частности, включает сепаратор грубого разделения, такой как циклон или сепаратора встраивавшего типа, и следующий за ним по ходу процесса сепаратор тонкого разделения, такой как электростатический или рукавный фильтр, твердые материалы (продукт реакции), выводимые газовым потоком, протекающим через центральную трубу, и захваченный реагент отделяются и, по крайней мере, частично рециркулируют в кольцевой псевдоожиженный слой реактора по возвратному трубопроводу для твердых материалов. Существенное преимущество такой гибкой рециркуляции твердых материалов состоит в том, что содержание твердых материалов/реагента вблизи смесительного пространства реактора можно целевым образом корректировать применительно к требованиям процесса и даже, при необходимости, менять во время работы. Согласно изобретению количество рециркулирующих твердых материалов может до 10 раз превышать количество подаваемого свежего реагента.

Для того чтобы регулировать объем рециркуляции, очень удобно согласно изобретению измерять падение давления над смесительным пространством между центральной трубой и выводным трубопроводом реактора, который ведет к сепаратору, и регулировать объем рециркуляции по перепаду давления, изменяя количество рециркулирующих твердых материалов/реагента. С этой целью падение давления измеряется с помощью измерительного устройства и передается на контроллер, который доводит падение давления до заранее установленного нужного значения путем изменения объема рециркуляции. Для этой цели оказалось особенно полезной псевдоожиженная промежуточная емкость с расположенным после нее по ходу процесса дозирующим элементом, например питателем с поворотной пластиной с регулируемой скоростью вращения или роликовым поворотным краном, где то количество твердых материалов или реагента, которое не требуется для рециркуляции, может быть выведено, например, с помощью перетока и быть направлено в другой процесс для дальнейшего использования. Рециркуляция твердого материала является легко осуществимым способом, способствующим стабилизации условий процесса в реакторе и/или увеличению среднего времени удерживания твердых материалов/реагента внутри

реактора.

Согласно изобретению подача реагента производится в зависимости от концентрации загрязнителей в очищенном отходящем газе. Концентрация измеряется с помощью измерительного устройства, например в трубопроводе для отходящего газа, ведущем к вытяжной трубе, а полученное при измерении значение передается на контроллер, который после этого автоматически регулирует подачу реагента, в результате чего в очищенном отходящем газе достигается нужная концентрация загрязнителей.

В качестве псевдоожижающего кольцевой псевдоожиженный слой газа в реактор предпочтительно подают воздух, но, разумеется, могут быть использованы и все другие газы или газовые смеси, известные специалистам в данной области. Может также оказаться целесообразным в качестве псевдоожижающего газа использовать или примешивать очищенный отходящий газ. Этим путем можно увеличить ввод газа в кольцевой псевдоожиженный слой и скорость газа, что приведет к повышению уровня реагента и, следовательно, к увеличенному вводу реагента в смесительное пространство, поскольку при этом будет захвачено большее количество реагента проходящим через центральную трубу отходящим газом. С помощью такого специфического образом увеличенного количества реагента можно, например, добиться исчезновения пиков загрязнителя или улучшить качество очищенного отходящего газа. Согласно изобретению скорость рециркулирующего очищенного отходящего газа может зависеть от концентрации загрязнителя в очищенном отходящем газе и обычно может, например, лежать в пределах от 5 до 10% от количества подаваемого в реактор отходящего газа.

С целью установления оптимальной температуры процесса предлагается кроме того, в зависимости от температуры в реакторе и/или температуры покидающего реактор очищенного отходящего газа, производить впрыскивание в реактор воды. В результате этого имеет место адиабатическое испарение, с помощью которого можно легко регулировать температуру в реакторе. Впрыскивание воды может производиться как в кольцевой псевдоожиженный слой, так и на него.

Чтобы скомпенсировать флуктуации в подаваемом в реактор для очистки объеме неочищенного отходящего газа, к отходящему газу в центральной трубе примешивается в качестве чистого газа очищенный отходящий газ, что, в частности, определяется объемной скоростью отходящего газа. Этим способом в кольцевом псевдоожиженном слое могут быть созданы устойчивые условия реакции.

Установка согласно изобретению, которая в наибольшей степени пригодна для осуществления описанного выше способа, включает реактор, представляющий собой реактор с псевдоожиженным слоем для приема реагента, который взаимодействует с газообразными загрязнителями из отходящих газов, причем в реакторе имеется газоподводящая система, которая устроена таким образом, что отходящий газ, проходящий через эту газоподводящую систему, увлекает твердые материалы из стационарного кольцевого псевдоожиженного слоя, который, по крайней мере, частично охватывает газоподводящую систему, в смесительное пространство. Предпочтительно, чтобы эта газоподводящая система, которая, в частности, может включать газоподводящую трубу, выходила в смесительное пространство. Однако возможно также завершение этой газоподводящей системы под поверхностью кольцевого псевдоожиженного слоя и близко к его верху. Газ при этом вводится в кольцевой псевдоожиженный слой, например, через боковые отверстия, увлекая за счет скорости своего потока твердый материал из кольцевого псевдоожиженного слоя в смесительное пространство.

Для этой цели газоподводящая система включает газоподводящую трубу (центральную трубу), выступающую от нижней зоны реактора существенно вертикально вверх, которая окружена пространством, которое, по крайней мере, частично охватывает по окружности центральную трубу и в котором образуется стационарный кольцевой псевдоожиженный слой. Центральная труба может быть выполнена с соплом на своем выходном отверстии и/или иметь одно или несколько отверстий, распределенных вокруг поверхности своего корпуса, благодаря чему при работе реактора реагент непрерывно попадает в центральную трубу через эти отверстия и увлекается отходящим газом через центральную трубу в смесительное пространство. Разумеется, в реакторе могут иметься две или более центральных труб разных или одинаковых размеров и форм. Однако предпочтительно, чтобы по меньшей мере одна из центральных труб была расположена приблизительно по центру относительно поверхности поперечного сечения реактора.

Согласно одному из предпочтительных воплощений изобретения после (по ходу процесса) реактора имеется по меньшей мере один сепаратор для отделения твердых материалов, который может включать сепаратор грубого разделения, в частности циклон и/или механический сепаратор встрихивающего типа, а после него сепаратор тонкого разделения, в частности электростатический или рукавный фильтр. Согласно изобретению после (по ходу процесса) сепаратора находится рециркуляционная система, включающая трубопровод для твердых материалов, ведущий к кольцевому псевдоожиженному слою реактора, трубопровод для твердых материалов, ведущий к смесительному пространству реактора, и/или выводной трубопровод для твердых материалов. Рециркуляция обеспечивает особенно хорошее использование реагента, которое можно легко изменять применительно к соответствующим условиям реакции. Для этой цели предпочтительно, чтобы в рециркуляционную систему входила буферная емкость для временного хранения твердых материалов и реагента, а также дозирующее устройство для контролируемой рециркуляции в реакторе.

Для обеспечения надежного псевдоожижения и образования стационарного псевдоожженного слоя в кольцевом пространстве реактора имеется газораспределитель, который разделяет это пространство на верхний кольцевой псевдоожженный слой и нижний газораспределитель, причем этот газораспределитель соединен с подводящим трубопроводом для псевдоожижающего газа, в частности воздуха и/или очищенного отходящего газа. Газораспределитель (фурменное днище) может, например, представлять собой покрытое тканью газораспределительное пространство или же газораспределитель, образованный трубами и/или соплами.

После сепаратора на стороне отходящего газа согласно изобретению имеется подводящий трубопровод для чистого газа для рециркуляции чистого газа в кольцевой псевдоожженный слой реактора и/или в центральную трубу, в результате чего очищаемый отходящий газ может смешиваться с уже очищенным отходящим газом с целью компенсации и регулирования флюктуаций в объемном расходе подаваемого на очистку отходящего газа, для чего объемный расход неочищенного отходящего газа может детектироваться согласно изобретению с помощью подходящих для этого измерительных устройств.

Для установления оптимальной температуры реакции согласно изобретению имеется водоподводящий трубопровод для впрыскивания воды в и/или на кольцевой псевдоожженный слой реактора.

Установка согласно изобретению имеет, кроме того, дифференциальный манометр, в частности, для измерения падения давления в реакторе, термометрическое устройство, в частности, для измерения температуры в реакторе или в потоке покидающего реактор отходящего газа, и/или газометр, в частности, для измерения концентрации исходного газа в очищенном отходящем газе. Согласно изобретению эти измеряемые значения подаются на соответствующие контроллеры с целью регулирования, в частности, подачи реагента, рециркуляции, примешивания очищенного отходящего газа к направляемому на очистку потоку отходящего газа, впрыскивания воды в кольцевой псевдоожженный слой реактора или другие параметры реакции. Согласно изобретению такой контроль давления, температуры и/или концентрации загрязнителей в очищенном отходящем газе производится с помощью упомянутых выше измерительных устройств, которые подсоединенны к контроллеру, например, с помощью кабелей или радиосвязи.

В кольцевом псевдоожженном слое и/или смесительном пространстве реактора согласно изобретению может быть установлено устройство для отклонения потока твердых материалов и/или реагента. В кольцевом псевдоожженном слое может быть, например, установлена кольцевая перегородка с диаметром промежуточным между диаметром центральной трубы и диаметром стенки реактора, таким образом, чтобы верхний край перегородки выступал за пределы возникающего в процессе работы уровня твердых материалов, в то время как нижний край перегородки был бы расположен на некотором расстоянии от газораспределителя или подобного ему устройства. Таким образом, твердый материал, отделившийся из смесительного пространства вблизи стенки реактора, прежде чем он сможет быть увлечен газовым потоком центральной трубы назад в смесительное пространство, должен вначале обойти перегородку у ее нижнего края. В результате этого в кольцевом псевдоожженном слое усиливается обмен твердых материалов и благодаря этому время удерживания твердого материала в кольцевом псевдоожженном слое стабилизируется.

Варианты, преимущества и возможности применения изобретения могут быть также уяснены из следующего описания отдельных воплощений и схем. Все отличительные признаки, описанные и/или проиллюстрированные на схемах, составляют предмет изобретения сами по себе или в любом их сочетании вне зависимости от их включения в формулу изобретения или в ссылочный материал.

#### Краткое описание чертежей

Фиг. 1 демонстрирует технологическую схему способа и установки согласно настоящему изобретению;

фиг. 2 демонстрирует реактор согласно настоящему изобретению.

#### Раскрытие изобретения

Установка и способ удаления газообразных загрязнителей из отходящих газов будет вначале описана в общем виде со ссылками на фиг. 1 для объяснения рабочего процесса согласно изобретению.

Для сухой газоочистки отходящих газов с газообразными загрязнителями, такими как фтористый водород HF, хлористый водород HCl или диоксид серы SO<sub>2</sub>, установка включает цилиндрический (например) реактор 2, который представлен на фиг. 2 в увеличенном масштабе, с газоподводящей трубой (центральной трубой) 20 для подачи газа на очистку, которая расположена коаксиально продольной оси реактора. Центральная труба 20 выступает существенно вертикально вверх от днища реактора 2. Вблизи днища реактора 2 имеется кольцевой газораспределитель 24, в который открываются подводящие трубопроводы 25 и 26. В верхней по вертикали зоне реактора 2, которая образует смесительное пространство 21, находится выводной трубопровод, который ведет к выполненному в виде циклона сепаратору 3.

Когда в этом случае в реактор 2 по трубопроводу для твердых материалов 13 (подводящий реагент трубопровод) вводится мелкозернистый реагент, на газораспределителе 24 образуется слой, кольцеобразно охватывающий центральную трубу 20, который здесь называется кольцевым псевдоожженным слоем 22. Вводимый через подводящий трубопровод 25, 26 псевдоожижающий газ проходит через газораспределитель 24 и псевдоожижает кольцевой псевдоожженный слой 22, в результате чего образуется стационарный псевдоожженный слой. Предпочтительно, когда газораспределитель 24 представляет

собой для этой цели ткань. Скорость подаваемого в реактор 2 псевдоожижающего газа регулируется таким образом, чтобы число Фруда для частиц в кольцевом псевдоожиженном слое 23 было в пределах от 0,3 до 1,1.

При продолжении подачи реагента в кольцевой псевдоожиженный слой 22 уровень твердых материалов в реакторе 22 поднимается в такой степени, что реагент попадает в отверстие центральной трубы 20. В то же время через центральную трубу 20 в реактор 2 вводится направляемый на очистку отходящий газ, который генерируется в какой-либо производимой ранее по ходу процесса операции 1, например при сжигании. Скорость отходящего газа, подаваемого в реактор 2 через центральную трубу 20, регулируют преимущественно таким образом, чтобы число Фруда для частиц в центральной трубе 20 было приблизительно в пределах от 30 до 90 и в смесительном пространстве 21 приблизительно в пределах от 4 до 12.

Как только уровень твердых материалов в кольцевом псевдоожиженном слое 22 поднимается выше кромки центральной трубы 20, твердый материал начинает переходить через эту кромку в центральную трубу 20. Верхняя кромка центральной трубы 20 может быть плоской или иметь какую-либо другую форму, например с зазубринами, или иметь боковые отверстия. Благодаря высоким скоростям газа отходящий газ, протекающий через центральную трубу 20, увлекает реагент из стационарного кольцевого псевдоожиженного слоя 22 в смесительное пространство 21, проходя через область верхнего отверстия, в результате чего образуется интенсивно перемешиваемая суспензия. В смесительном пространстве 21 газообразные загрязнители реагируют с зернистым реагентом, образуя твердые материалы.

Вследствие снижения объемной скорости при расширении газовой струи в смесительном пространстве 21 и/или при соударениях на одной из стенок реактора захваченные зерна реагента быстро теряют скорость и оседают назад в кольцевой псевдоожиженный слой 22 вместе с образовавшимися твердыми материалами. В результате этого между зонами реактора стационарного кольцевого псевдоожиженного слоя 22 и смесительного пространства 21 возникает циркуляция. Благодаря этой циркуляции реагент особенно долго циркулирует в реакторе 2, создавая в то же время возможность использования в смесительном пространстве 21 очень высокого теплопереноса.

Благодаря хорошим условиям реакции в смесительном пространстве 21, которые создаются за счет высокой турбулентности и обусловленными ей хорошими условиями для массо- и теплопереноса, и благодаря большому времени удерживания реагента в кольцевом псевдоожиженном слое 22 реакция может продолжаться до тех пор, пока не будут достигнуты очень низкие концентрации чистого газа при почти стехиометрическом расходе реагента.

Реагент и образовавшиеся при реакции твердые материалы, которые не отделились от потока отходящего газа над центральной трубой 20 в смесительном пространстве 21 и не осели непосредственно назад в кольцевой псевдоожиженный слой 22, выводятся из реактора 2 вверх через выводной трубопровод вместе с потоком уже очищенного отходящего газа, частично отделяются от потока отходящего газа в сепараторе грубого разделения 3, 4 и рециркулируют большей частью по трубопроводу для твердых материалов 11 в кольцевой псевдоожиженный слой 22. В зависимости от реакции твердые материалы и реагент выводятся из контура рециркуляции рециркуляционной системы 23 в определенной, предпочтительно малой доле через выводной трубопровод 18. Сепаратор грубого разделения включает циклон 3 и механический сепаратор встrellывающего типа 4.

В сепараторе 5, представляющем собой электростатический или рукавный фильтр, который находится по ходу процесса после сепаратора 3, 4, перед выпуском отходящего газа через вытяжную трубу 7 в атмосферу из него удаляются оставшиеся твердые материалы. Отделенные в сепараторе тонкого разделения 5 твердые материалы, включающие реагент, также частично рециркулируют или выводятся из контура. Для осуществления тонкого разделения могут быть использованы все типы сепараторов тонкого разделения 5, в частности механические сепараторы, фильтрационные сепараторы или электростатические фильтры.

Рециркуляционная система 23 состоит из соответствующих возвратных трубопроводов для твердых материалов 11, 15 с запорными приспособлениями, одной или более буферных емкостей 16, в частности, дозирующих устройств 17, расположенных после буферной емкости 16, например механических вентиляй роликового типа или подающих валиков. Рециркуляция для грубого и тонкого материала может осуществляться раздельно или совместно.

Нерециркулирующие твердые материалы выводятся из процесса через выводные трубопроводы 18 и только частично из рециркуляционного потока грубого или тонкого материала. Количество рециркулирующих твердых материалов может до 10 раз превышать количество вновь добавляемого реагента.

В некоторых применениях, однако, весь реагент, прошедший через очистительную установку для отходящего газа и продуктов реакции (твердых материалов), может быть подвергнут переработке. В этом случае, следовательно, нет истинного расхода реагента. А это означает, что такие способы очистки могут осуществляться при добавлении свежих реагентов в строго стехиометрических количествах, благодаря чему для сведения к минимуму расхода реагента нет необходимости в рециркуляции отдельного реагента. Выводимые или рециркулирующие твердые материалы в большей своей части состоят из полностью прореагировавшего реагента или в меньшей части из неполностью прореагировавшего реагента.

Для контроля объема рециркуляции может быть использован перепад давления в смесительном

пространстве 21 (PDIC). Этот перепад давления измеряется просто с помощью манометра 32, установленного в закорачивающем реактор обходном трубопроводе, подсоединенном к соответствующему контроллеру. Корректировка установленного значения перепада давления 14 в смесительном пространстве 21 влияет на концентрацию загрязнителя в очищаемом газе и/или на расход реагента.

Свежий реагент подается в кольцевой псевдоожженный слой 22, например, из бункера 29 по подводящему реагент трубопроводу 13. Подходящими для использования в качестве реагента мелкозернистыми материалами, согласно соответствующей цели изобретения, являются глинозем  $Si_2O_3$ , карбонат натрия  $Na_2CO_3$ , гашеная известь  $Ca(OH)_2$ , негашеная известь  $CaO$  и т.д. Подача реагента производится в зависимости от концентрации загрязнителя в чистом газе (очищенном отходящем газе) и автоматически регулируется соответствующим контроллером (QIC), который соединен с измеряющим концентрацию загрязнителя устройством 28 через дозирующее устройство. При увеличении концентрации загрязнителя в чистом газе повышается скорость дозирования реагента.

Дополнительной степенью свободы, влияющей на концентрацию загрязнителя в чистом газе или сводящей к минимуму расход реагента, может также быть изменение рециркуляции газа в кольцевой псевдоожженный слой. При повышении концентрации загрязнителя в чистом газе увеличивается скорость рециркуляции очищенного отходящего газа по возвратному трубопроводу для газа 26. В результате этого увеличиваются ввод газа и скорость в кольцевом псевдоожженном слое 22. Увеличивается высота кольцевого псевдоожженного слоя 22 и вследствие этого возрастает переток твердых материалов в центральную трубу 20 (центральную форму) или в смесительное пространство 21. Таким образом, реакция газа с твердыми материалами в смесительном пространстве 21 может быть сдвинута в сторону более низких значений для чистого газа. Эту регулируемую переменную можно очень легко использовать для компенсации пиков вредных газов в отходящем газе (неочищенном газе). Количество газа, рециркулирующего со стороны чистого газа к кольцевому псевдоожженному слою 22, составляет от 5 до 10% от количества подаваемого в систему отходящего газа. Рециркуляция газа к кольцевому псевдоожженному слою может осуществляться с помощью отдельного компрессора 8 или со стороны системы с повышенным давлением через главный компрессор 6 по возвратному трубопроводу 9 с регулирующим клапаном.

Оптимальная температура для желаемой химической реакции в реакторе 2 зависит от реагента и удаляемого газообразного загрязнителя. Оптимальная температура реакции, которая измеряется термометрическим устройством 27 в потоке отходящего газа после реактора 10, регулируется путем впрыскивания воды 12 и адиабатического испарения (TIC). Воду впрыскивают на поверхность стационарного кольцевого псевдоожженного слоя 22. Кольцевой псевдоожженный слой 22 представляет собой определенное пространство, в котором благодаря хорошим условиям массопереноса происходит быстрое испарение даже более крупных капелек воды с диаметром до 1 мм. Это дает также возможность дозировать воду на испарение при более низком давлении. Дозирование воды, впрыскиваемой в кольцевой псевдоожженный слой 22, может производиться через простые трубы или одно или более сопел.

Названный способ впрыскивания воды представляет значительное преимущество по сравнению с системами двухжидкостных сопел или системами сопел высокого давления, которые были необходимы для предшествующих реакторов с псевдоожженным слоем типа Вентури. Причиной применения сопел высокого давления является неопределенное положение и неопределенное состояние псевдоожженного слоя типа Вентури. Отсюда, для того чтобы уменьшить время испарения капелек, необходим очень малый диаметр капелек. Это и требует системы сопел высокого давления, в которых нет необходимости в реакторе 2 согласно изобретению.

Когда объемная скорость отходящего газа в случае работы с неполной загрузкой сильно снижается, существует также возможность подавать чистый газ с нагнетательной стороны вытяжного вентилятора 6, 8 к очищаемому отходящему газу перед центральной трубой 20 реактора 2 с кольцевым псевдоожженным слоем. Этим путем обеспечивается устойчивость работы реактора с кольцевым псевдоожженным слоем.

Благодаря хорошим условиям реакции в смесительном пространстве 21, обусловленным высокой турбулентностью и связанными с этим хорошими условиями для массо- и теплопереноса, а также большим временем удерживания реагента в псевдоожженном слое, реакция для сухой очистки отходящего газа может выполняться согласно изобретению до тех пор, пока не будут достигнуты очень низкие концентрации чистого газа при почти стехиометрическом расходе реагента. Этим путем достигается особенно эффективная очистка отходящего газа при малом расходе реагента. Кроме названных выше областей применения способ газоочистки согласно изобретению может быть также использован для очистки  $SO_2$ -содержащего газа с агломерационных фабрик.

Пример 1 (удаление фтористого водорода из отходящего газа электролитических камер производства алюминия).

При производстве алюминия методом флюсовой электролитической плавки выделяются значительные количества газообразного фтористого водорода (HF). Загрязнитель попадает в печной отходящий газ и перед выпуским газа в атмосферу должен удаляться из отходящего газа.

Объединенный поток отходящего газа из электролитических камер 1 поступает в окруженную кольцевым псевдоожженным слоем 22 центральную трубу 20 с температурой от 50 до 150°C. Рецирку-

лирующий чистый газ или (если имеется) не содержащий твердых частиц отходящий газ из пропускаемого параллельно газового потока подается в кольцевое пространство реактора 2 с кольцевым псевдоожиженным слоем 22. Регулируя оптимальную температуру в кольцевом псевдоожиженном слое 22 с помощью впрыскивания воды 12 или испарения воды, можно добиться оптимального для реакции эффекта. Впрыскивание воды 12 производится непосредственно в кольцевой псевдоожиженный слой. Число Фруда для частиц ( $Fr_p$ ) равно в центральной трубе 20 приблизительно 36, в кольцевом псевдоожиженном слое от 22 приблизительно 0,36 и в смесительном пространстве 21 приблизительно 5,1.

В качестве реагента используется оксид алюминия (глинозем,  $Al_2O_3$ ). Благодаря большой удельной поверхности оксид алюминия поглощает фтористый водород и частично образует фторид алюминия  $AlF_3$ . Весь материал, прошедший установку удаления фтора, попадает в электролитические камеры, где он может быть переработан с получением алюминия. Расход при этом отсутствует. В результате этого реакторная установка с кольцевым псевдоожиженным слоем для очистки отходящего газа может работать без рециркуляции твердых материалов.

Так как в этом применении используются относительно низкие температуры, фурменное днище газораспределителя 24 может быть образовано какой-либо нетермостойкой тканью.

Типичные условия реакции могут быть найдены в следующей таблице. Нормальные кубометры ( $nm^3$ ) означают объем потока при нормальных условиях (273 К, 1013 мбар).

Количество газа	100 000 - 2 000 000	$m^3/ч$
Температура газа	50 - 150	$^{\circ}C$
Содержание HF в отходящем газе	5 - 1000	$mg/nm^3$
Содержание HF в чистом газе	< 1 - 5	$mg/nm^3$

Ниже приводится пример проектных данных установки удаления фтора с приблизительно шестью-девятью электролитическими камерами установки для производства алюминия:

Проектные переменные параметры	Количество/примечание	Единицы
Объемная скорость	300 000	$nm^3(сухого)/ч$
Состав газа (сухого):		
Кислород, $O_2$	18	об % (сух)
Диоксид углерода, $CO_2$	3	об % (сух)
Азот ( $N_2$ ), инертные газы	Баланс	об % (сух)
Точка росы   Содержание водяного пара	21   22	$^{\circ}C   g/nm^3$ (сух.)
Вредные газы:	Отход. газ	чистый газ
Фтористый водород, HF	40 - 90	$mg/nm^3$
Хлористый водород, HCl	-	$mg/nm^3$
Диоксид серы, $SO_2$	150 - 200	$mg/nm^3$
Содержание пыли	500	$mg/nm^3$
Температура	100	$^{\circ}C$

Получен следующий расход:

Данные по расходу			
Реагент (оксид алюминия, глинозем)	300	кг/ч	Без рециркуляция твердых материалов

Пример 2 (удаление кислых газов из потока дымового газа сжигающих установок).

В процессах сгорания содержащиеся в топливе соединения серы, фтора или хлора посредством различных равновесных реакций подвергаются превращению в основном с образованием диоксида серы  $SO_2$ , фтористого водорода HF и хлористого водорода HCl. Это происходит, например, на электростанциях и на установках для сжигания отходов и специальных отходов. Эти газообразные соединения выводятся вместе с отходящим газом из зоны сгорания 1 и должны удаляться из потока отходящего газа перед его выводом в атмосферу.

Для удаления кислых компонентов из отходящих газов (дымовых газов) было уже разработано большое число различных влажных, сухих и квазисухих способов. Все эти способы объединяют то, что удаление кислых компонентов в них производится одновременно с использованием щелочных реагентов.

Поток отходящего газа с установки с применением горения 1 подается в центральную трубу 20 (центральную фурму). Температура на входе в центральную трубу 20 составляет примерно от 100 до 250 $^{\circ}C$ . Рециркулирующий чистый газ или (если имеется) не содержащий твердых частиц отходящий газ из пропускаемого параллельно газового потока подается в образующийся в кольцевом пространстве кольцевой псевдоожиженный слой 22. Активность кольцевого псевдоожиженного слоя может быть повышена путем впрыскивания воды 12 и возникающего при этом повышения содержания воды в отходя-

щем газе, а также путем адиабатического испарения с одновременным понижением температуры газа. Впрыскивание воды 12 производится через одно или более сопел непосредственно на поверхность кольцевого псевдоожженного слоя 22 или внутрь слоя. Число Фруда для частиц ( $Fr_p$ ) равно в центральной трубе 20 приблизительно 89, в кольцевом псевдоожженном слое от 22 приблизительно 1,0 и в смесительном пространстве 21 приблизительно 10.

В качестве реагентов используются соединения кальция, такие как гашеная известь  $Ca(OH)_2$  или негашеная известь  $CaO$ . Диоксид серы реагирует с соединениями кальция с образованием сульфитов или сульфатов. Для минимизации расхода реагента часть твердых материалов, отделенных в сепараторе грубого или тонкого разделения 4, 5, вводят в рециркуляцию. Фаза рециркуляции может до десяти раз превышать объем подачи свежего реагента. Благодаря хорошим условиям массопереноса в кольцевом псевдоожженном слое 22 и смесительном пространстве 21 достигается высокая степень отделения.

Типичные условия реакции могут быть найдены в следующей таблице.

Количество газа	5 000 - 500 000	м <sup>3</sup> /ч
Температура газа	100 - 250	°С, после обессыпливания
Содержание $SO_2$ в отходящем газе	10 - 20 000	мг/нм <sup>3</sup>
Содержание $HCl$ в отходящем газе	5 - 5000	мг/нм <sup>3</sup>
Содержание $HF$ в отходящем газе	5 - 5000	мг/нм <sup>3</sup>
Содержание $SO_2$ в чистом газе	< 10 - 50	мг/нм <sup>3</sup>
Содержание $HCl$ в чистом газе	< 1 - 50	мг/нм <sup>3</sup>
Содержание $HF$ в чистом газе	< 1 - 50	мг/нм <sup>3</sup>

Ниже приводится пример проектных данных для технологической схемы установки сжигания бытовых отходов производительностью 400 т/сутки.

Проектные переменные параметры		Количество/примечание		Единицы
Объемная скорость		60 000		нм <sup>3</sup> (сухого)/ч
Состав газа (сухого):				
Кислород, $O_2$		8,5		об % (сух)
Диоксид углерода, $CO_2$		11,5		об % (сух)
Азот ( $N_2$ ), инертные газы		Баланс		об % (сух)
Точка росы	Содержание водяного пара	55	150	°С г/нм <sup>3</sup> (сух.)
Вредные газы:		Отход. газ	чистый газ	
Фтористый водород, $HF$		< 30	< 1	мг/нм <sup>3</sup>
Хлористый водород, $HCl$		< 1200	< 10	мг/нм <sup>3</sup>
Диоксид серы, $SO_2$		< 500	< 50	мг/нм <sup>3</sup>
Температура		180 - 220		°С, после бойлера
Содержание пыли		5000	< 10	мг/нм <sup>3</sup>
Температура		180 - 210		°С

Получен следующий расход:

Данные по расходу			
Реагент известь $Ca(OH)_2$	130	кг/ч	Рециркуляция твердых материалов, примерно 300%
Вода	1500-3000	кг/ч	
Количество рециркуляции	Примерно 400	кг/ч	

Пример 3 (удаление диоксида серы, фтористого водорода и хлористого водорода из потока отходящего газа теплогенерирующего процесса).

В некоторых производственных процессах, например в производстве стекла, производстве цемента, на обжиговых установках и в металлургических процессах при производственном процессе выделяются чистые вредные газы. Для очистки газа используются способы, в основном подобные способам для описанных выше установок с применением горения. Однако во многих областях промышленности допустимы более низкая эффективность или большие выбросы.

В этом примере поток отходящего газа из производственного процесса подается в центральную трубу 20 реактора 2. Температура на выходе из центральной трубы составляет примерно от 200 до 600°С. Рециркулирующий чистый газ или (если имеется) не содержащий твердых частиц отходящий газ из пропускаемого параллельно газового потока подается в кольцевой псевдоожженный слой 22.

Число Фруда для частиц ( $Fr_p$ ) равно в центральной трубе 20 приблизительно 77, в кольцевом псев-

доожженном слое от 22 приблизительно 0,77 и в смесительном пространстве 21 приблизительно 10,7.

В качестве реагентов используются соединения кальция, такие как известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , известняк  $\text{CaCO}_3$  или негашеная известь  $\text{CaO}$ . Диоксид серы реагирует с соединением кальция с образованием сульфитов или сульфатов. Благодаря хорошим условиям массопереноса в кольцевом псевдоожженном слое достигается высокая степень отделения. В некоторых применениях используемый для отделения загрязнителей реагент и продукты реакции могут быть подвергнуты переработке в процессе. В этом случае, следовательно, нет истинного расхода реагента. А это означает, что производительность по реагенту по всей установке очистки отходящего газа имеет подчиненное значение. В таких случаях рециркуляция не проводится и для того чтобы обеспечить нужные содержания чистого газа, количество вновь добавляемого реагента соответственно увеличивается.

Типичные условия реакции могут быть найдены в следующей таблице.

Количество газа	5 000 - 500 000	$\text{м}^3/\text{ч}$
Температура газа	200 - 600	$^{\circ}\text{C}$
Содержание $\text{SO}_2$ в отходящем газе	1000 - 20 000	$\text{мг}/\text{м}^3$
Содержание $\text{HCl}$ в отходящем газе	50 - 5000	$\text{мг}/\text{м}^3$
Содержание $\text{HF}$ в отходящем газе	20 - 1000	$\text{мг}/\text{м}^3$
Содержание $\text{SO}_2$ в чистом газе	< 500 - 2000	$\text{мг}/\text{м}^3$
Содержание $\text{HCl}$ в чистом газе	< 10 - 50	$\text{мг}/\text{м}^3$
Содержание $\text{HF}$ в чистом газе	< 3 - 50	$\text{мг}/\text{м}^3$

Ниже приводится пример проектных данных для отходящего газа из плавильного тигля производительностью приблизительно 600 т/сутки.

Проектные переменные параметры	Количество/примечание		Единицы
Объемная скорость	83 000		$\text{м}^3(\text{сухого})/\text{ч}$
Состав газа (сухого):			
Кислород, $\text{O}_2$	8		об % (сух)
Диоксид углерода, $\text{CO}_2$	12		об % (сух)
Азот ( $\text{N}_2$ ), инертные газы	Баланс		об % (сух)
Точка росы   Содержание водяного пара	45	90	$^{\circ}\text{C}$   $\text{г}/\text{м}^3$ (сух.)
Вредные газы:	отход. газ	чистый газ	
Фтористый водород, $\text{HF}$	20	< 5	$\text{мг}/\text{м}^3$
Хлористый водород, $\text{HCl}$	90	< 30	$\text{мг}/\text{м}^3$
Диоксид серы, $\text{SO}_2$	1000	< 500	$\text{мг}/\text{м}^3$
Содержание пыли	200	< 20	$\text{мг}/\text{м}^3$
Температура	360-380, макс 450		$^{\circ}\text{C}$

Получен следующий расход:

Данные по расходу			
Известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$	80	$\text{кг}/\text{ч}$	0% рециркуляции
Вода	0 - 2000	$\text{кг}/\text{ч}$	
Рециркулирующий материал	40	$\text{кг}/\text{ч}$	50% рециркуляции

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ удаления газообразных загрязнителей из отходящих газов, в которых газообразные загрязнители реагируют с мелкозернистым реагентом с образованием в реакторе с псевдоожженным слоем твердых материалов в реакторе с псевдоожженным слоем (2), отличающийся тем, что отходящий газ вводится снизу через преимущественно по центру расположенную газоподводящую трубу (20) в смесительное пространство (21) реактора (2), причем газоподводящая труба (20), по крайней мере, частично окружена стационарным кольцевым псевдоожженным слоем (22) реагента, который псевдоожижается подводимым псевдоожижающим газом и в котором объемные скорости отходящего газа и псевдоожижающего газа для кольцевого псевдоожженного слоя (22) регулируют таким образом, чтобы число Фруда для частиц было в газоподводящей трубе (20) в пределах от 1 до 100, в кольцевом псевдоожженном слое (22) от 0,02 до 2 и в смесительном пространстве (21) от 0,3 до 30.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что число Фруда для частиц в газоподводящей трубе (20) составляет от 20 до 90.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что число Фруда для частиц в кольцевом псевдоожженном слое (22) составляет от 0,2 до 1,2.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что число Фруда для частиц в смесительном пространстве (21) составляет от 3 до 15.

5. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что высоту слоя реагента в реакторе (2) регулируют таким образом, что кольцевой псевдоожиженный слой (22) выступает за пределы верхнего открытого конца центральной трубы (20), и при этом реагент непрерывно вводится в отходящий газ и увлекается газовым потоком в смесительное пространство (21), расположенное над зоной отверстия центральной трубы (20).

6. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что отходящий газ содержит диоксид серы, фтористый водород и/или хлористый водород, и при этом в качестве реагента подается оксид алюминия, карбонат натрия и/или соединения кальция, в частности гашеная или негашеная известь, с величиной зерна менее 100 мкм.

7. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что отходящий газ перед подачей в реактор (2) подвергается предварительному обеспыливанию.

8. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что образовавшиеся твердые материалы и возможно реагент выводятся из реактора (2) с потоком отходящего газа, подаются по меньшей мере в один сепаратор (3, 4, 5) и рециркулируют в кольцевой псевдоожженный слой (22) и/или смесительное пространство (21) реактора (2) и/или выводятся.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что рециркулирующее количество твердых материалов до 10 раз превышает вновь добавляемое количество реагента.

10. Способ по п.8 или 9, отличающийся тем, что регулирование объема рециркуляции производится по перепаду давления (14) над смесительным пространством (21).

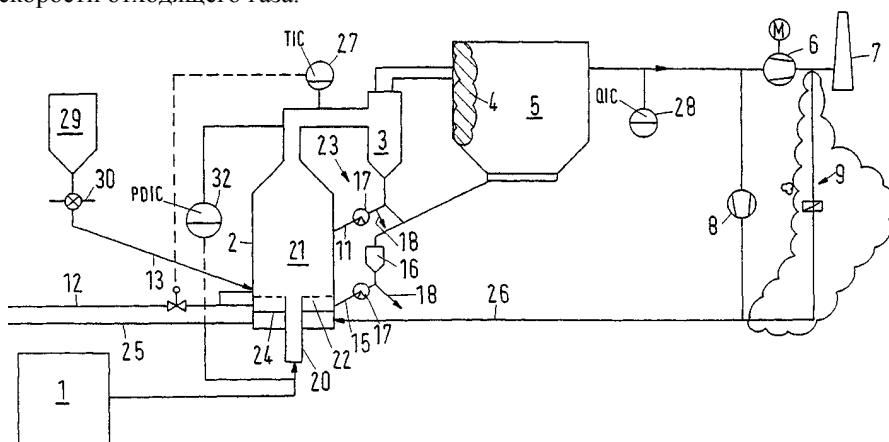
11. Способ по любому из пп.1-10, отличающийся тем, что подача реагента производится в зависимости от концентрации (10) загрязнителей в очищаемом отходящем газе.

12. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что в качестве псевдоожижающего газа в кольцевой псевдоожженный слой (22) реактора (2) вводится очищенный отходящий газ и/или воздух.

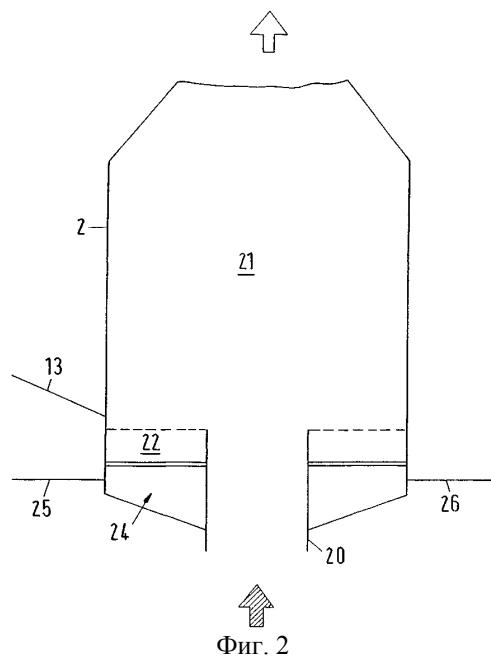
13. Способ по п. 12, отличающийся тем, что скорость рециркулирующего очищенного отходящего газа зависит от концентрации загрязнителя в очищенном отходящем газе и составляет от 5

14. Способ по любому из пп.1-13, отличающийся тем, что в реактор (2) впрыскивается вода в зависимости от концентраций загрязнителя в отходящем газе и составляет, в частности, от 5 до 10% от количества подаваемого в реактор (2) отходящего газа.

14. Способ по любому из пп.1-13, если включая тем, что в реактор (2) выпрессивается вода в зависимости от температуры в реакторе (2) и/или температуры покидающего реактор (2) очищенного отходящего газа.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПО

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2/6