



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014115717/06, 09.08.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.08.2012

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
20.09.2011 FR 1102848

(43) Дата публикации заявки: 27.10.2015 Бюл. № 30

(45) Опубликовано: 27.09.2016 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: EP 2273192 A1, 12.01.2011 ;EP 0211483 A2, 25.02.1987 ;RU 43944 U1, 10.02.2005 ;RU 2006746 C1, 30.01.1994. SU 1746129 A1, 07.07.1992 ;RU 2119120 C1, 20.09.1998.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 21.04.2014

(86) Заявка РСТ:  
FR 2012/000336 (09.08.2012)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2013/041779 (28.03.2013)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**ГОТЬЕ Тьерри (FR),  
ОТЕИТ Али (FR),  
ГИЛЛУ Флоран (FR),  
РИФФЛАР Себастьян (FR)**

(73) Патентообладатель(и):

**ИФП ЭНЕРЖИ НУВЕЛЛЬ (FR),  
ТОТАЛЬ СА (FR)**

**(54) СПОСОБ СЖИГАНИЯ В ХИМИЧЕСКОМ КОНТУРЕ С УДАЛЕНИЕМ ЗОЛ И МЕЛКИХ ЧАСТИЦ В ЗОНЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УСТАНОВКА, В КОТОРОЙ ПРИМЕНЯЮТ ТАКОЙ СПОСОБ**

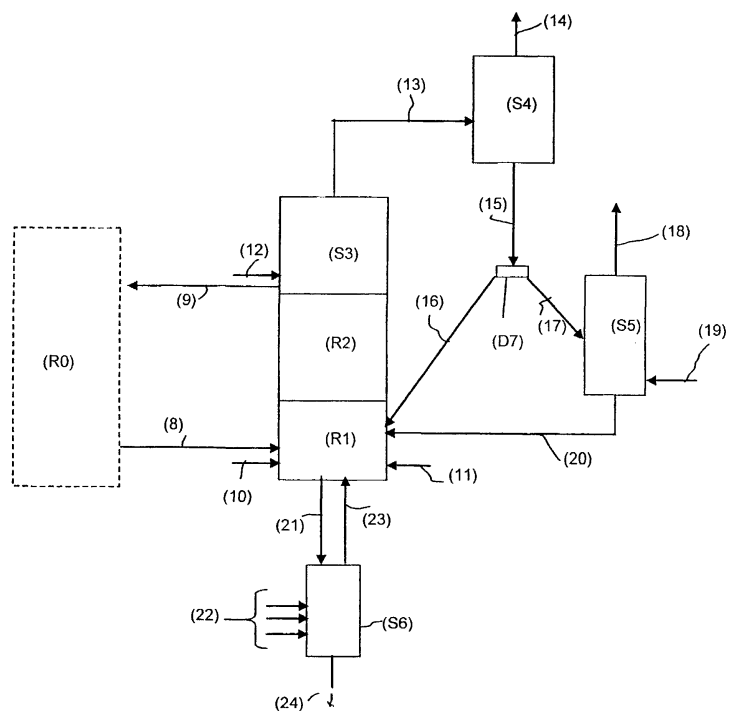
(57) Реферат:

Изобретение относится к области энергетики. Способ сжигания углеводородной загрузки из твердых частиц в химическом контуре, в котором циркулирует материал-носитель кислорода в виде частиц, при этом упомянутый способ включает, по меньшей мере, приведение в контакт частиц твердой загрузки и частиц материала-носителя кислорода в первой реакционной зоне R1, работающей в плотном кипящем слое; сжигание газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны R1, в присутствии частиц

материала-носителя кислорода во второй реакционной зоне R2; разделение несгоревших частиц твердой загрузки, летучих зол и частиц материала-носителя кислорода внутри смеси, выходящей из зоны R2, в зоне быстрого разделения S3 для перемещения вместе с дымами горения (13) основной части несгоревших частиц твердой загрузки и летучих зол и направления основной части частиц материала-носителя кислорода в зону окисления R0; очистку от пыли дымов (13), выходящих из зоны быстрого

разделения S3, в зоне очистки дымов от пыли S4 для удаления потока очищенных от пыли газов (14) и потока частиц (15), содержащего золы и плотные частицы, в основном образовавшиеся из частиц носителя кислорода и из частиц несгоревшей твердой загрузки; разделение потока частиц (15), отделенных на этапе пылеулавливания S4, на два потока в зоне разделения потока D7, при этом один из них рециркулирует в реакционную зону R1,

работавшую в плотном кипящем слое, а другой направляют в зону разделения S5 посредством декантации; разделение посредством декантации в упомянутой зоне S5 для рекуперации зол и рециркуляции плотных частиц в первую реакционную зону R1. Изобретение позволяет полностью сжигать твердую загрузку, снизить выброс вредных веществ. 2 н. и 14 з.п. ф-лы, 1 табл., 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 598 503** (13) **C2**

(51) Int. Cl.

*F23C 10/10* (2006.01)

*F23C 10/24* (2006.01)

*F23C 99/00* (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2014115717/06, 09.08.2012**

(24) Effective date for property rights:  
**09.08.2012**

Priority:

(30) Convention priority:  
**20.09.2011 FR 1102848**

(43) Application published: **27.10.2015** Bull. № 30

(45) Date of publication: **27.09.2016** Bull. № 27

(85) Commencement of national phase: **21.04.2014**

(86) PCT application:  
**FR 2012/000336 (09.08.2012)**

(87) PCT publication:  
**WO 2013/041779 (28.03.2013)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,  
OOO "JURidicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**GOTE Terri (FR),  
OTEIT Ali (FR),  
GILLU Floran (FR),  
RIFFLAR Sebasten (FR)**

(73) Proprietor(s):

**IFP ENERZHI NUVELL (FR),  
TOTAL SA (FR)**

(54) **CHEMICAL LOOPING COMBUSTION METHOD WITH REMOVAL OF ASH AND FINES IN REDUCTION AREA, AND FACILITY USING SUCH METHOD**

(57) Abstract:

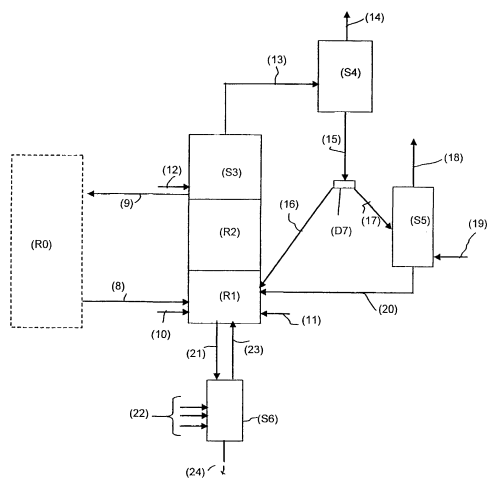
FIELD: energy.

SUBSTANCE: invention relates to power engineering. Method of combustion of a hydrocarbon feedstock with solid particles in chemical loop in which circulates an oxygen carrier material in particulate form, said method comprising at least contact of solid filler particles with oxygen carrier material particles in a first R1 reaction zone operating in dense fluidised bed; combustion waste gas from first R1 reaction zone in presence of oxygen carrier material particles in second reaction zone R2; separation of solid filler particles unburnt, fly ash and oxygen carrier material particles in a mixture resulting from R2 zone, in a rapid separation zone S3 to carry with flue gases (13) most of unburned solid filler particles and fly ash and send most of oxygen carrier material particles to an oxidation zone R0; gas dedusting (13) from quick separation zone S3 in S4 flue gas dedusting zone for discharging dedusted gas stream (14) and flow of particles (15)

comprising ash and formed dense particles predominantly oxygen carrier solid particles and unburned particulate filler; division of particle stream (15) separated in dedusting step S4 into two streams in a division area D7 flows, one being recycled to first R1 reaction zone operating in dense fluidised bed, and other sent to a separation zone by elutriation S5; separation by elutriation in said area S5 to recover and recycle ash dense particles to R1 first reaction zone.

EFFECT: invention provides complete combustion of solid filler, reduces emission of hazardous substances.

16 cl, 1 tbl, 3 dwg



Фиг. 1

Область техники

Изобретение относится к области сжигания в химическом контуре окисления-восстановления твердых углеводородных грузов для производства энергии, синтетического газа и/или водорода.

5 В частности, изобретение касается удаления зол, образующихся в восстановительном реакторе установки сжигания в химическом контуре.

Терминология

Способ сжигания в химическом контуре или CLC: в дальнейшем тексте описания под способом CLC (Chemical Looping Combustion) следует понимать способ окисления-восстановления в контуре на активной массе. Следует отметить, что, как правило, термины «окисление» и «восстановление» применяют в отношении соответственно окисленного или восстановленного состояния активной массы. В установке сжигания в химическом контуре зона окисления является зоной, в которой масса окисления-восстановления окисляется, а зона восстановления является зоной, в которой масса окисления-восстановления восстанавливается.

Удаление летучих компонентов:

в ходе термической обработки органические соединения теряют летучие вещества, сначала воду и диоксид углерода, жидкие и затем газообразные углеводороды, затем оксид углерода и, наконец, водород. Этот процесс называется удалением летучих компонентов. Температура удаления летучих компонентов и интенсивность явления зависят от исходного органического соединения. Так, для углей возрастающей сортности удаление летучих компонентов происходит при все более высокой температуре.

Кипящий слой:

в дальнейшем тексте описания:

25 - под плотным кипящим слоем следует понимать кипящий слой, в котором доля газа  $\epsilon_g$  меньше 0,9, предпочтительно меньше 0,8.

- под разбавленным кипящим слоем следует понимать кипящий слой, в котором объемная доля частиц металлических оксидов меньше 10% по объему.

Проблематика зол

30 Для осуществления сжигания в химическом контуре используют материалы-носители кислорода, такие как металлические оксиды, которые отдают свой кислород в зоне восстановления (называемой «топливный реактор») в соответствующих рабочих условиях. После восстановления материал перемещают в зону окисления (называемую «воздушный реактор»), в которой он опять окисляется при контакте с окисляющим газом (например, таким как воздух или водяной пар).

35 Как правило, в рамках способа сжигания в химическом контуре применяют одну или несколько реакционных зон, в которых осуществляют сжигание топлива (например, углеводородной загрузки) при контакте с твердым веществом-носителем кислорода, которое затем опять окисляется, по меньшей мере, в одной зоне окисления при контакте с воздухом или водяным паром, после чего его направляют в зону или зоны сжигания (или восстановления). Реакционные зоны, обеспечивающие осуществление реакции горения в химическом контуре, обычно представляют собой кипящие слои или подвижные слои.

45 Сжигание в химическом контуре (CLC) твердых углеводородных грузов является процессом, обеспечивающим, в частности, производство энергии (пар, электричество ...) за счет отбора тепла, выделяемого в ходе реакций горения, с одновременным производством дымов с высоким содержанием  $\text{CO}_2$ . Следовательно, можно

предусмотреть улавливание  $\text{CO}_2$  после конденсации дымов и сжатия дымов. Можно также предусмотреть производство синтетического газа и даже водорода посредством управления горением и применения необходимой очистки на выходе процесса горения.

В реакционных механизмах, связанных с сжиганием в химическом контуре в зоне восстановления, было установлено, что твердое топливо проходит через фазу газификации, которой способствует присутствие водяного пара или диоксида углерода и температура, затем газ, производимый на этапе газификации, окисляется при контакте с материалом-носителем кислорода. Если твердое топливо содержит летучие вещества, то они, по меньшей мере, частично удаляются при контакте с горячим материалом-носителем кислорода и затем окисляются этим кислородом. В случае, когда материал-носитель кислорода естественным образом высвобождает кислород в соответствии с рабочими условиями, можно также получать прямое окисление твердого топлива газообразным кислородом, высвобождаемым материалом в топливном реакторе.

Сжигание твердых загрузок в химическом контуре неизбежно происходит в экстремальных рабочих условиях, необходимых для осуществления реакций горения. Для обеспечения газификации топлива необходимо иметь высокие температуры, как правило, составляющие от 800 до 1100°C, предпочтительно составляющие от 850 до 1000°C. Время, необходимое для газификации, сокращается в зависимости от температуры и, как правило, составляет от 30 секунд до 30 минут. Поэтому предпочтительно осуществлять частичную газификацию, отделять от отходов и рециркулировать не газифицированный остаток топлива. Таким образом, можно добиться выхода конверсии (при газификации) за один цикл от 50 до 80% в температурном диапазоне от 850°C до 1000°C при времени реакции от 1 минуты до 10 минут, как правило, от 3 до 5 минут. Повысив частичное давление окисляющего газа ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ), можно сократить время газификации.

Другой проблемой, связанной с применением сжигания в химическом контуре твердых загрузок, является образование зол. Действительно, твердые топлива характеризуются довольно высоким содержанием минеральных веществ, и после сгорания углерода и водорода образуются твердые остатки, называемые золами. В таблице 1 в качестве примера приведены результаты анализа двух углей А и В. Отмечается, что содержание зол в углях колеблется в зависимости от происхождения твердой загрузки, но в любом случае это содержание является значительным. Как правило, оно составляет 5-20% от массы сухого угля. Некоторые твердые топлива, такие как нефтяной кокс, характеризуются намного меньшим содержанием зол. Существуют также твердые топлива с более высоким содержанием зол.

В основном эти золы представляют собой оксид кремния и оксид алюминия, однако они содержат также и другие ингредиенты, как показано в таблице 1.

| Таблица 1              |                  |         |         |         |
|------------------------|------------------|---------|---------|---------|
| Анализ различных углей |                  |         |         |         |
| Анализ сухого угля     | Золы             | -       | Уголь А | Уголь В |
|                        | Летучие вещества | Мас. %  | 10,3    | 14,8    |
|                        | Сера             | Мас. %  | 37,6    | 24      |
|                        | Теплоемкость     | Мас. %  | 0,5     | 0,57    |
|                        |                  | кКал/кг | 6710    | 6630    |
| Последний анализ       | С                | Мас. %  | 71,1    | 73,46   |
|                        | Н                | Мас. %  | 4,77    | 3,87    |
|                        | N                | Мас. %  | 1,41    | 1,65    |
|                        | S                | Мас. %  | 0,5     | 0,57    |
|                        | Ash              | Мас. %  | 10,3    | 14,76   |

|                                             |            |                                |       |       |       |
|---------------------------------------------|------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| 5<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>10 | Состав зол | O                              | Мас.% | 11,92 | 5,69  |
|                                             |            | SiO <sub>2</sub>               | Мас.% | 67    | 49,84 |
|                                             |            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Мас.% | 19,2  | 40,78 |
|                                             |            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Мас.% | 5,2   | 2,9   |
|                                             |            | CaO                            | Мас.% | 2     | 1,08  |
|                                             |            | MgO                            | Мас.% | 1,2   | 0,26  |
|                                             |            | TiO <sub>2</sub>               | Мас.% | 0,9   | 1,96  |
|                                             |            | K <sub>2</sub> O               | Мас.% | 1,7   | 0,64  |
|                                             |            | Na <sub>2</sub> O              | Мас.% | 1,7   | 0,06  |
|                                             |            | SO <sub>3</sub>                | Мас.% | 0,9   | 0,52  |
|                                             |            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | Мас.% | 0,2   | 1,05  |

Золы, получаемые при сжигании угля, состоят из мелких остаточных частиц. Их температура плавления колеблется в зависимости от их состава и, как правило, составляет от 1000 до 1500°C. Однако при более низких температурах, например, между 800 и 1000°C, можно наблюдать явление агломерации зольных частиц, которые начинают склеиваться. Таким образом, они могут либо слипаться между собой, либо слипаться с частицами материала-носителя кислорода. С учетом условий сжигания в химическом контуре различают два типа зол:

- летучие золы: соответствуют золам, которые переносятся в топливном реакторе газообразными продуктами горения;

- агломерированные золы: соответствуют золам, которые слипаются между собой или с материалом-носителем кислорода и являются слишком тяжелыми, чтобы их могли переносить в топливном реакторе газообразные продукты горения.

Как правило, летучие золы составляют от 50 до 99% образующихся зол, обычно от 70 до 90%. Они имеют относительно небольшой гранулометрический размер и обычно представляют собой, по меньшей мере, 25% мелких частиц размером менее 10 микрон и 90% мелких частиц размером менее 100 микрон, как показано на фиг. 3, где в качестве примера представлено типовое гранулометрическое распределение летучих зол. Как правило, средний диаметр Саутера, характеризующий гранулометрический размер летучих зол, составляет от 5 до 30 микрон и обычно приближается к 10 микронам.

Плотность зерна этих зол обычно составляет от 2000 до 3000 кг/м<sup>3</sup> и, как правило, приближается к 2500 кг/м<sup>3</sup>.

Гранулометрический размер агломерированных частиц с трудом поддается оценке и зависит от условий процесса. Как правило, считают, что гранулометрический размер этих зол превышает 100 микрон и может достигать нескольких миллиметров.

В патентной заявке FR 2 850 156 описан способ сжигания в химическом контуре, согласно которому топливо измельчают перед загрузкой в восстановительный реактор, работающий в режиме подвижного копящего слоя. Меньший размер частиц твердого топлива обеспечивает более полное и более быстрое сжигание и позволяет получать почти 100% летучих зол, которые отделяются от циркулирующих оксидов. Прежде всего отделение на выходе подвижного слоя обеспечивается циклоном, затем устройством, позволяющим отделять частицы недожога от частиц металлического оксида. Таким образом, избегают перемещения недожога в зону окисления и, следовательно, выбросов CO<sub>2</sub> в отходы окислительного реактора.

Устройство разделения содержит кипящий слой, разбавляемый водяным паром, который позволяет отделять мелкие и легкие частицы, такие как углеродсодержащий остаток, и повторно направлять этот остаток в реактор, тогда как более плотные и более крупные частицы оксидов поступают в окислительный реактор. Это устройство

содержит два внутренних отсека.

Кроме того, согласно FR 2 850 156, летучие золы отделяют от частиц оксидов во втором контуре, где разделитель, работающий в режиме кипящего слоя, производит разделение, при этом псевдоожиженные летучие золы направляют в бункер по пневматическому трубопроводу, а металлические оксиды извлекают после осаждения в основании реактора с кипящим слоем.

Кроме того, высокие скорости газа, применяемые в восстановительном реакторе, работающем в режиме подвижного кипящего слоя, не позволяют получать время пребывания частиц, достаточное для газификации всего твердого топлива, чтобы производить затем сжигание продуктов газификации. Следовательно, необходимо производить рециркуляцию частиц недожога с их прохождением через разделитель. При этом отделение частиц оксидов является сложной операцией, так как требует дополнительной подачи большого количества газа, что приводит к большим затратам энергии.

Кроме того, по причине слишком короткого времени пребывания трудно осуществить полное сжигание, и дымсодержащие газы содержат большие количества СО и Н<sub>2</sub>, что требует наличия зоны дожига на выходе процесса.

В диссертации N.Berguerand "Design and Operation of a 10 kWth Chemical-Looping Combustor for Solid Fuels", ISBN 978-91-7385-329-3 описано устройство, позволяющее производить сжигание угля с применением химического контура.

Это устройство содержит окислительный реактор, использующий металлические частицы, циклон, обеспечивающий разделение частиц и воздуха, обедненного после окисления, кипящий слой, питаемый окисленными металлическими частицами через обратное колено, расположенное под циклоном, в котором происходит восстановление металлического оксида посредством сжигания угля. Уголь подают в верхнюю часть кипящего слоя в разбавленную фазу. В восстановительном реакторе сжигание угля происходит постепенно: частицы угля начинают опускаться противотоком по отношению к газам псевдоожижения, и происходит удаление летучих компонентов в разбавленной фазе, в которой металлические оксиды присутствуют лишь в незначительном количестве. Большое время пребывания позволяет газифицировать уголь и получать газообразные продукты сгорания, содержащие большие количества оксида углерода и водорода, которые переходят в разбавленную фазу.

В плотной фазе реактора скорости псевдоожижения являются низкими, как правило от 5 до 30 см/с, что не позволяет увлекать существенные количества металлических оксидов в разбавленной фазе, которые могли бы способствовать сжиганию газов, таких как СО, Н<sub>2</sub>, или улетающих углеводородов, удаляемых из зоны разбавления.

Поэтому отходы восстановительного реактора содержат большие количества СО и углеводородов (НС), превышающие несколько процентов по объему. Следовательно, КПД сжигания является низким, и тоже необходимо наличие зоны дожига для завершения сжигания.

Кроме того, согласно этому документу, восстановительный реактор оборудован разделителем частиц, помещенным в плотную фазу, что требует добавления дополнительного газа для реализации разделения.

В этой системе не предусмотрено специального устройства, обеспечивающего отделение и удаление зол, образующихся при сжигании твердых загрузок.

Для устранения недостатков двух вышеуказанных систем заявители разработали усовершенствованный способ сжигания в химическом контуре, который даже при наличии крупных частиц топлива обеспечивает полное сжигание твердой загрузки и

сведение к минимуму количества рециркулируемой твердой загрузки, что позволяет максимизировать энергетический КПД способа. Этот способ сжигания в соответствии с изобретением позволяет улавливать не менее 90%  $\text{CO}_2$ , выделяемого при сжигании, в дымах непосредственно на выходе реактора сжигания, при этом степень улавливания определяют как отношение количества  $\text{CO}_2$  в дымах, выходящих из реактора сжигания, к количеству  $\text{CO}_2$ , получаемому при способе сжигания в химическом контуре.

На выходе способа сжигания молярное соотношение  $\text{CO}/\text{CO}_2$  дымов на выходе циклонов меньше 0,05, и соотношение  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$  меньше 0,05. Этого достигают, с одной стороны, благодаря оптимизации первоначального контакта между частицами-носителями кислорода и твердым топливом, что способствует реакциям газификации угля, и, с другой стороны, за счет оптимизации контакта между продуктами газификации и металлическими оксидами, чтобы получать отходы, прошедшие через полное сжигание ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{HC} < 1$  объем. % в дымах).

Кроме того, отделение частиц несгоревшего топлива от частиц металлических оксидов происходит на входе этапа очистки дымов от пыли в восстановительном реакторе с целью наилучшего использования максимальной кинетической энергии дымов для разделения двух типов частиц.

Способ в химическом контуре включает в себя:

- установление контакта частиц твердого топлива с частицами металлических оксидов в первой реакционной зоне (R1), работающей с плотным кипящим слоем,
- сжигание газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны, в присутствии частиц металлических оксидов во второй реакционной зоне R2,
- разделение внутри смеси, выходящей из зоны газа, частиц недожога и частиц металлических оксидов в зоне разделения S3,
- повторное окисление частиц металлических оксидов в зоне окисления до их подачи в зону установления контакта (R1).

На выходе зоны разделения частиц недожога и частиц металлических оксидов можно предусмотреть систему пылеулавливания, содержащую, например, одну или несколько ступеней циклонов для отделения частиц, увлекаемых дымами зоны сжигания топливного реактора. Летучие золы увлекаются в дымах в направлении этой системы пылеулавливания с несгоревшими частицами твердого топлива. Для максимизации энергетического КПД установки необходимо рекуперировать основную часть несгоревших частиц топлива и, следовательно, осуществлять глубокое пылеулавливание. Это пылеулавливание позволяет рекуперировать несгоревшие частицы, а также значительную часть летучих зол, которые будут рециркулированы в топливный реактор.

Можно разместить камеру, содержащую кипящий слой, на трубопроводе, перемещающем частицы, отделенные во время этапа пылеулавливания, для удаления летучих зол посредством декантации. Однако это средство не позволяет отдельно контролировать декантацию зол и декантацию несгоревших частиц. Действительно, в этом случае хорошее удаление получаемых зол выражается соответственно значительным удалением несгоревших частиц и, следовательно, снижением энергетического КПД или снижением степени улавливания  $\text{CO}_2$ .

Кроме того, в случае, когда частицы материала-носителя кислорода увлекаются в зону пылеулавливания, необходимо предусмотреть большие размеры кипящего слоя, чтобы обеспечить достаточное время для разделения посредством декантации в кипящем слое.

Кроме того, чтобы устранить недостатки, связанные с одновременным удалением

несгоревших частиц и зол, предложена новая конфигурация зоны сжигания (восстановительная зона или «топливный реактор»), которая обеспечивает:

- установление контакта частиц твердого топлива с частицами металлических оксидов в первой реакционной зоне (R1), работающей с плотным кипящим слоем,

- сжигание в разбавленной фазе газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны, в присутствии частиц металлических оксидов во второй реакционной зоне R2, предпочтительно работающей на разбавленном кипящем слое,

- разделение частиц внутри смеси, выходящей из зоны сжигания в разбавленной фазе R2, что позволяет рекуперировать вместе с дымами основную часть частиц недожога, в зоне разделения S3,

- очистку от пыли дымов, выходящих из зоны разделения S3, в зоне S4 очистки дымов от пыли,

- разделение потока частиц, отделенных на этапе пылеулавливания, на два потока, один из которых рециркулируют в зону установления контакта восстановительного реактора, работающую в плотной фазе, а другой направляют в зону разделения посредством декантации S5, обеспечивающую рекуперацию зол, в зоне разделения потока D7.

Описание изобретения

Объекты изобретения

Объектом изобретения является усовершенствованный способ сжигания твердой углеводородной загрузки в химическом контуре с применением специальной конфигурации зоны восстановления, которая включает в себя: первую реакционную зону (R1), работающую в режиме плотного кипящего слоя; вторую реакционную зону R2; зону быстрого разделения S3 для разделения несгоревших частиц твердого топлива, летучих зол и частиц материала-носителя кислорода внутри смеси, выходящей из зоны R2; зону очистки дымов от пыли S4; зону разделения D7 потока частиц, при этом часть частиц рециркулируют непосредственно в первую реакционную зону (R1), а другую часть направляют в зону разделения S5 посредством декантации для рекуперации зол через трубопровод (18) и для рециркуляции плотных частиц через трубопровод (20) в первую реакционную зону (R1).

Объектом изобретения является также установка сжигания в химическом контуре, позволяющая применять упомянутый способ.

Сущность изобретения

Объектом изобретения является способ сжигания углеводородной загрузки из твердых частиц в химическом контуре, в котором циркулирует материал-носитель кислорода в виде частиц, при этом упомянутый способ содержит, по меньшей мере:

- установление контакта между частицами твердой загрузки и частицами материала-носителя кислорода в первой реакционной зоне R1, работающей на плотном кипящем слое;

- сжигание газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны R1, в присутствии частиц материала-носителя кислорода во второй реакционной зоне R2;

- разделение несгоревших частиц твердой загрузки, летучих зол и частиц материала-носителя кислорода внутри смеси, выходящей из зоны R2, в зоне быстрого разделения S3 для перемещения вместе с дымами горения (13) основной части несгоревших частиц твердой загрузки и летучих зол и направления основной части частиц материала-носителя кислорода в зону окисления R0;

- очистка от пыли дымов (13), выходящих из зоны быстрого разделения S3, в зоне очистки дымов от пыли S4 для удаления потока очищенных от пыли газов (14) и потока

частиц (15), содержащего золы и плотные частицы, в основном образовавшиеся из частиц носителя кислорода и из частиц несгоревшей твердой загрузки;

- разделение потока частиц (15), отделенных на этапе пылеулавливания S4, на два потока в зоне разделения потока D7, при этом один из них рециркулирует в реакционную зону R1, работающую на плотном кипящем слое, а другой направляют в зону разделения S5 посредством декантации;

- разделение посредством декантации в упомянутой зоне S5 для рекуперации зол и рециркуляции плотных частиц в первую реакционную зону R1.

В варианте выполнения способ также включает в себя:

- осаждение агломерированных топочных зол в нижней части первой реакционной зоны R1 в зоне псевдоожижения S6, расположенной под первой реакционной зоной R1,

- извлечение потока частиц (24), содержащего, по меньшей мере, 10 масс.% агломерированных топочных зол.

Предпочтительно псевдоожижение зоны S6 осуществляют при помощи газа со скоростью газа псевдоожижения в наибольшем проходном сечении зоны S6, которая не превышает 3-кратной минимальной скорости псевдоожижения материала-носителя кислорода.

Предпочтительно извлечение агломерированных зол из зоны псевдоожижения S6 осуществляют при помощи охлаждаемого шнека.

Твердую загрузку можно выбирать среди угля, кокса, нефтяного кокса, биомассы, битумных песков и бытовых отходов.

Предпочтительно материал-носитель кислорода представляет собой сыпучее твердое вещество с размером частиц, при котором гранулометрический состав на 90% находится в пределах от 150 до 300 микрон.

Предпочтительно газ псевдоожижения, подаваемый в зону разделения S5 посредством декантации, по меньшей мере, частично состоит из дымов, производимых при сжигании твердой загрузки.

Предпочтительно газ псевдоожижения, подаваемый в зону разделения S5 посредством декантации, полностью состоит из дымов, производимых при сжигании твердой загрузки.

Предпочтительно поток, непосредственно рециркулируемый в первую реакционную зону R1, работающую с плотным псевдоожиженным слоем, составляет, по меньшей мере, 50% потока, поступающего в зону разделения потока D7. Еще предпочтительнее поток, непосредственно рециркулируемый в первую реакционную зону R1, работающую с плотным псевдоожиженным слоем, составляет, по меньшей мере, 80% потока, поступающего в зону разделения потока D7.

Концентрация летучих зол в смеси частиц, циркулирующей в зоне сжигания, предпочтительно составляет менее 5 масс.%, еще предпочтительнее - менее 1 масс.%.

Объектом изобретения является также установка для сжигания твердой углеводородной загрузки в химическом контуре окисления-восстановления при помощи описанного выше способа, при этом упомянутая установка содержит, по меньшей мере:

- первую реакционную зону R1, содержащую вход для твердого топлива (10), вход для газа псевдоожижения (11) и вход для частиц носителя кислорода (8), поступающих из зоны окисления R0,

- вторую реакционную зону R2, в которую поступает газообразный отход сжигания, содержащий частицы, поступающие из первой реакционной зоны R1,

- зону быстрого разделения S3 твердых частиц, в которую поступает газообразный отход сжигания из второй реакционной зоны R2, содержащий золы, частицы носителя кислорода и частицы несгоревшей твердой загрузки, и которая содержит выходной

трубопровод (9) для удаления большей части частиц материала-носителя кислорода в зону окисления R0,

- зону очистки дымов от пыли S4, в которую через вход (13) поступают наиболее легкие частицы, увлекаемые газообразными продуктами сжигания, выходящими из зоны быстрого разделения S3,

- зону разделения потока D7, в которую через вход (15) поступает поток частиц, отделенных от дымов в зоне очистки S4 дымов от пыли, при этом упомянутый поток, содержит золы и плотные частицы, в основном образованные частицами носителя кислорода и частицами несгоревшей твердой загрузки,

- зону разделения S5 посредством декантации, в которую через вход (17) поступает миноритарная часть потока частиц, разделенного в зоне разделения потока D7, и которая содержит трубопровод (19), обеспечивающий подачу газа псевдоожижения, и трубопровод (18) удаления легких частиц, в основном содержащих летучие зоны и мелкие частицы материала-носителя кислорода,

- трубопровод (16), отходящий от зоны разделения потока D7, для непосредственной рециркуляции основной части потока частиц, разделенного в зоне разделения потока D7, в первую реакционную зону R1,

- трубопровод (20), отходящий от зоны разделения S5 посредством декантации, для рециркуляции плотных частиц, отделенных посредством декантации, в первую реакционную зону R1.

Предпочтительно проходное сечение второй реакционной зоны R2 меньше проходного сечения первой реакционной зоны R1.

В варианте выполнения установка содержит зону осаждения агломерированных топочных зол, находящуюся под первой реакционной зоной R1 и содержащую:

- трубопровод подачи агломерированных зол (21),

- зону псевдоожижения S6,

- один или несколько трубопроводов (22), обеспечивающих подачу газа псевдоожижения,

- выходной трубопровод (23) удаления частиц носителя кислорода для их рециркуляции в первую реакционную зону R1,

- средства извлечения потока частиц (24), содержащего, по меньшей мере, 10 масс.% агломерированных топочных зол.

Предпочтительно зона псевдоожижения S6 является усеченной конусной зоной с половиной угла относительно вертикали, меньшей или равной 15°.

Подробное описание изобретения

Способ сжигания в химическом контуре в соответствии с изобретением использует первую зону восстановления, обеспечивающую:

- установление контакта частиц твердой загрузки с частицами металлических оксидов в первой реакционной зоне, работающей с плотным кипящим слоем,

- сжигание в разбавленной фазе газообразных отходов, поступающих из первой реакционной зоны, в присутствии частиц носителя кислорода (например, частиц металлических оксидов) во второй реакционной зоне,

- разделение частиц внутри смеси, поступающей из зоны сжигания в разбавленной фазе, позволяющее рекуперировать вместе с дымами большую часть частиц недожога,

- очистку от пыли дымов, выходящих из зоны разделения,

- разделение потока частиц, отделенных на этапе пылеулавливания, на два потока, один из которых рециркулирует в зону установления контакта топливного реактора, работающую с плотной фазой, а другой направляют в зону разделения посредством

декантации, обеспечивающую рекуперацию зол.

Поток, напрямую рециркулируемый в первую реакционную зону с плотным кипящим слоем без прохождения через этап разделения, предпочтительно представляет собой основную часть потока, рекуперированного во время этапа пылеулавливания, то есть, по меньшей мере, 50%, предпочтительно, по меньшей мере, 80%. В этих условиях большую часть несгоревшего угля рециркулируют в восстановительный реактор («топливный реактор»). Часть летучих зол тоже рециркулируют в восстановительный реактор, однако их концентрация в циркулирующем потоке частиц остается ограниченной. Оптимизируя работу зоны восстановления, можно получить концентрацию летучих зол менее 5% по отношению к расходу материала-носителя кислорода, циркулирующего в зоне восстановления, и предпочтительно менее 1%.

Поток, направляемый в зону отделения зол посредством декантации, предпочтительно представляет собой меньшую часть потока, рекуперированного во время этапа пылеулавливания, то есть менее 50%, предпочтительно менее 20% потока, выходящего из зоны восстановления. Зона отделения зол содержит, например, кипящий слой, скорость псевдоожижения в котором выбирают для селективного удаления мелких частиц и, в частности, зол вместе с газом псевдоожижения. Несгоревшие частицы угля и мелкие частицы материала-носителя кислорода неизбежно увлекаются вместе с золами в этой зоне разделения. Наиболее тяжелые частицы, то есть крупные частицы несгоревшего угля и основная часть частиц материала-носителя кислорода, остаются в кипящем слое и затем рециркулируются в топливный реактор.

Работа установки является оптимальной, если в топливном реакторе не скапливаются золы. В этих условиях расход отделенных зол, увлекаемых газом псевдоожижения в зоне разделения посредством декантации, соответствует расходу летучих зол при сжигании угля в химическом контуре в топливном реакторе за вычетом зол, удаляемых в дымах сжигания или в отходах воздушного реактора. Увеличив циркуляцию оксидов в направлении декантатора, увеличивают количество зол, удаляемых в декантаторе, и ограничивают концентрацию зол, циркулирующих в топливном реакторе. За счет этого ограничивают риски слипания между золами и металлическим оксидом во время сжигания.

Кроме того, в случае, когда частицы носителя кислорода подвергаются механическому разрушению (истиранию), приводящему к образованию мелких частиц, можно корректировать условия работы зоны разделения для удаления не только летучих зол от сжигания, но также мелких частиц материала-носителя кислорода, подвергнувшегося истиранию. В этих новых условиях работа установки является оптимальной, если расход отделенных частиц, увлекаемых газом псевдоожижения в зоне разделения, соответствует, по меньшей мере, расходу летучих зол при сжигании угля в химическом контуре в топливном реакторе и расходу частиц металлических оксидов, претерпевших истирание, за вычетом расхода частиц, удаляемых в дымах от сжигания или в отходах топливного реактора. Это позволяет избежать скапливания в установке зол и мелких частиц материала-носителя кислорода.

Другой задачей настоящего изобретения является дополнение описанного выше устройства для получения системы удаления агломерированных зол в нижней части первой реакционной зоны, работающей с кипящим слоем в плотной фазе. Это устройство позволяет полностью удалять все агломерированные золы, которые образуются в зоне восстановления (топливный реактор). В этой конфигурации агломерированные золы удаляются из зоны восстановления в концентрированном потоке, в котором массовая концентрация агломерированных зол составляет, по меньшей мере, 10%,

предпочтительно, по меньшей мере, 50%.

#### Описание фигур

Изобретение проиллюстрировано фиг. 1, 2 и 3, которые не несут ограничительного характера.

5 Фиг.1 иллюстрирует общий принцип изобретения, включая зону восстановления в предпочтительном варианте выполнения (с осаждением агломерированных зол).

Фиг. 2 иллюстрирует частный вариант выполнения реакционных зон R1, R2 и зоны разделения S3.

10 Фиг. 3 - пример распределения гранулометрического состава летучих зол, в котором показано совокупное количество в массовых процентах в зависимости от диаметра частиц ( $d_p$  в микронах).

#### Фигура 1:

зона восстановления (топливный реактор) в основном включает в себя 3 зоны:

- первую зону R1 установления контакта частиц твердой загрузки с частицами 15 металлических оксидов, работающую в плотном кипящем слое,
- зону сжигания (или вторую реакционную зону) R2 газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны, в присутствии частиц металлических оксидов и твердого топлива, выходящих из зоны R1, предпочтительно работающую в разбавленном кипящем слое,
- 20 - зону быстрого разделения (S3) внутри смеси, выходящей из зоны сжигания R2, обеспечивающую разделение газа, частиц несгоревшего твердого топлива и частиц металлических оксидов.

Установка дополнительно содержит зону S4 очистки дымов от пыли, зону S5 разделения посредством декантации, зону S6 осаждения агломерированных зол и зону 25 D7 разделения потока.

Для упрощения зона окисления в химическом контуре схематично показана на фиг. 1 в виде зоны (R0), ограниченной пунктирной линией.

Материал-носитель кислорода, возвращающийся из зоны окисления R0 (в данном случае не показан), предпочтительно поступает в зону установления контакта в плотном 30 кипящем слое R1 восстановительного реактора через трубопровод (8). Наиболее тяжелые частицы, выходящие из зоны быстрого разделения (S3) через трубопровод (9), поступают в зону окисления (R0) (топливный реактор). Твердое топливо подают в зону установления контакта R1 через один или несколько трубопроводов подачи топлива (10). Псевдоожижение зоны установления контакта R1 осуществляют через вход (11) 35 газа псевдоожижения, как правило, окисляющего газа, такого как водяной пар или  $\text{CO}_2$ , вводимые раздельно или в смеси.

В этой первой псевдоожиженной зоне в плотной фазе R1 твердое топливо, нагреваемое в присутствии окисляющего газа, подвергается удалению летучих веществ и частичной газификации. В этой зоне начинается сжигание образующихся газов в 40 химическом контуре. Время пребывания частиц в этой первой зоне обычно составляет от 0,25 до 20 минут, предпочтительно от 2 до 10 минут. Как правило, поверхностная скорость газа составляет от 0,3 до 3 м/с в условиях реакции на выходе первой реакционной зоны R1.

В этой зоне концентрация металлических оксидов равна не менее 10% по объему, и 45 температура обычно составляет от 800 до 1000°C, предпочтительно превышает 900°C.

Газы, образующиеся при удалении летучих компонентов, газификации и сжигании, переносят частицы во вторую реакционную зону R2, предпочтительно работающую в режиме подвижного разбавленного кипящего слоя, в которой в основном происходят

реакции сжигания остаточных газов удаления летучих компонентов и газификации. В этой зоне среднее время пребывания газов обычно составляет от 1 до 20 секунд, при этом среднее время пребывания твердых веществ колеблется от 2 секунд до 1 минуты. Скорость газов в этой зоне предпочтительно колеблется 3 до 30 м/с, предпочтительно от 5 до 15 м/с, и поток твердых носителей кислорода колеблется от 25 до 500 кг/с/м<sup>2</sup> и предпочтительно составляет от 60 до 300 кг/с/м<sup>2</sup>, что способствует хорошему контакту между газами и частицами металлических оксидов. В этих условиях стремятся добиться объемной концентрации частиц менее 10%, предпочтительно менее 5%.

Затем смесь газов и частиц, выходящую из второй реакционной зоны R2, направляют в зону разделения (S3), в которой происходит быстрое отделение наиболее тяжелых частиц (в основном частиц материала-носителя кислорода) от наиболее легких частиц. Наиболее тяжелые частицы выходят из зоны разделения (S3) через трубопровод удаления (9) и поступают в реакционную зону окисления R0 (воздушный реактор). Для лучшего отделения плотных частиц и легких частиц в зоне разделения S3 с камерой S3 можно соединить трубопровод (12) подачи внешнего дополнительного газа для псевдоожижения плотных частиц в нижней части камеры вокруг выходного трубопровода второй реакционной зоны R2.

Наиболее легкие частицы, в основном представляющие собой частицы несгоревшего топлива, летучие золы и наиболее легкие частицы материала-носителя кислорода, увлекаются газообразными продуктами сжигания, в основном содержащими CO<sub>2</sub> и водяной пар, и выходят из топливного реактора через трубопровод удаления (13). Предпочтительно поверхностная скорость газов в разбавленной фазе зоны S3 в результате прохождения дымов сжигания и возможного добавления внешнего газа соответствует значению от 30 до 300% средней конечной скорости падения частиц носителя кислорода, и предпочтительно составляет от 50 до 150% средней конечной скорости падения частиц носителя кислорода.

Трубопровод (9) позволяет удалять наиболее плотные частицы среды, то есть большинство частиц металлических оксидов, восстановленных при контакте с углем в зонах R1 и R2, в окислительный реактор (воздушный реактор, схематично показанный пунктирной линией в виде зоны (R0)), а также небольшие количества летучих зол и несгоревшего топлива, которые не были отделены в зоне S3.

Легкие частицы, выходящие из зоны восстановления вместе с газообразными продуктами сжигания через трубопровод удаления (13), направляются затем в зону пылеулавливания S4, состоящую из одной или двух ступеней разделения. Разделение происходит, например, в циклонах, которые являются хорошо известными специалисту технологическими элементами. Это пылеулавливание позволяет рекуперировать не менее 99% частиц, предпочтительно не менее 99,5% частиц, перемещаемых в дымах сжигания, на выходе топливного реактора. Очищенные от пыли газы выходят из зоны пылеулавливания S4 через трубопровод удаления (14) и поступают для возможной пост-обработки на выходе реакционной зоны в зонах, таких как: зона отбора тепла, позволяющая понизить температуру дымов до значения, близкого к их точке росы, с одновременным теплообменом с паром, зона отделения загрязнений (Sox, NOx и т.д.), зона последнего пылеулавливания, позволяющая снизить содержание частиц в дымах до концентрации, достаточной для обеспечения сжатия CO<sub>2</sub>, зона конденсации водяного пара и зона сжатия дымов, содержащих в основном CO<sub>2</sub> после конденсации воды.

Отделенные от дымов частицы выходят из зоны сжигания через трубопровод удаления (15) и направляются, - по крайней мере, что касается частиц, выходящих из первой

ступни разделения в случае использования нескольких ступеней, - в зону разделения D7 потока, представляющую собой, например, кипящий слой с трубопроводом (15) входа частиц и двумя трубопроводами (16) и (17) выхода частиц, предпочтительно расположенными в плотной фазе кипящего слоя, или любое другое известное специалисту средство, например, такое как двойной сильфон. Эти два потока (16) и (17) имеют сходный состав частиц.

Поток частиц (16) предпочтительно представляет собой большую часть, то есть не менее 50%, предпочтительно не менее 80% потока частиц, перемещаемого в трубопроводе (13), и рециркулируется непосредственно в первую реакционную зону R1.

Поток частиц (17), предпочтительно представляющий собой меньшую часть первоначального потока, направляется в зону S5 разделения посредством декантации, содержащую, например, кипящий слой, из которого легкие частицы выходят через трубопровод удаления (18), увлекаемые газом псевдоожижения, который поступает через трубопровод подачи (20). В кипящем слое, образующем зону S5 разделения посредством декантации, скорость регулируют таким образом, чтобы обеспечивать удаление летучих зол с расходом, соответствующим расходу зол в потоке, создаваемом при сжигании. Диаметр камеры S5, позволяющий удалять золы, регулируют в зависимости от предусматриваемого количества зол. Действительно, перемещение частиц из кипящего слоя зависит от концентрации частиц, которые могут увлекаться в кипящем слое, и от сечения пустого ствола декантатора. Скорость газа тоже регулируют в зависимости от потребностей разделения. Скорость газа влияет также на количество увлекаемого материала, но при этом ухудшает характеристики увлекаемых материалов. Чем выше скорость, тем более тяжелые частицы могут увлекаться. Как правило, скорость газа составляет от 0,3 до 1,5 м/с, предпочтительно находится в диапазоне 0,4-1 м/с, чтобы получать потоки увлекаемых частиц от 0,01 до 5 кг/с/м<sup>2</sup>, предпочтительно от 0,05 до 0,5 кг/с/м<sup>2</sup>. Чем выше скорость, тем ниже концентрация зол в остаточном потоке (20), рециркулируемом в топливный реактор.

Псевдоожижение зоны S5 разделения посредством декантации осуществляют при помощи газа, тщательно выбираемого в зависимости от потребностей способа. декантацию можно осуществлять при помощи газа-носителя, состоящего из воздуха. В этих условиях газ псевдоожижения, по меньшей мере, частично повторно окисляет частицы материала-носителя кислорода и частицы несгоревшего твердого топлива. В этих условиях можно использовать средства, позволяющие удалять тепло в этой зоне для охлаждения кипящего слоя и/или его газообразных отходов. В этих условиях дым, выходящий из зоны разделения посредством декантации, не смешиваются с дымами восстановительного реактора, выходящими через трубопровод удаления (14), а могут, например, смешиваться с газообразными отходами воздушного реактора или могут подвергаться отдельной обработке.

Можно также использовать газ, такой как CO<sub>2</sub>, для осуществления разделения посредством декантации в кипящем слое. В этих условиях отходы декантатора, выходящие через трубопровод (18), могут смешиваться с дымами топливного реактора, выходящими через трубопровод удаления (14) после пост-обработки, обеспечивающей удаление частиц угля, например, в зоне дожигания несгоревших частиц угля.

Для осуществления разделения посредством декантации можно также предусмотреть другие газы, такие как водяной пар.

Предпочтительно прохождение частиц между делителем потока D7 и первой

реакционной зоной R1, между делителем D7 и разделителем-декантатором S5 и между разделителем-декантатором S5 и зоной R1 восстановительного реактора контролируют при помощи механических вентилях, таких как L-образные вентили.

Зона S5 разделения посредством декантации позволяет удалять мелкие частицы зол.

5 Разделение посредством декантации позволяет также удалять мелкие частицы металлического оксида, получаемые в ходе способа при истирании. Выбор высокой скорости декантации позволяет удалять частицы металлического оксида-носителя кислорода, разрушающиеся при циркуляции частиц между воздушным реактором (зона окисления) и топливным реактором (зона восстановления).

10 В предпочтительном варианте выполнения псевдоожиженная зона S6, обеспечивающая осаждение топочных зол, которые имеют очень большой размер по сравнению с частицами материала-носителя кислорода и твердого топлива, расположена под зоной установления контакта R1, для обеспечения удаления топочных зол. В эту зону через трубопровод (21) поступает смесь частиц, в основном содержащая  
15 агломерированные золы и металлический оксид, а также незначительные количества летучих зол и топлива. Псевдоожижение зоны S6 разделения происходит при низкой скорости псевдоожижения, соответствующей 1-10-кратной минимальной скорости псевдоожижения частиц материала-носителя кислорода при помощи частично окисляющего газа, такого как  $H_2O$  или  $CO_2$ , раздельно или в смеси, поступающего  
20 через один или несколько трубопроводов подачи (22). Более плотные агломерированные частицы будут стремиться к осаждению на дне зоны S6, тогда как более легкие частицы (не агломерированный носитель кислорода, летучие золы и несгоревший уголь) хорошо поддаются псевдоожижению и могут быть рециркулированы в зону R1 через трубопровод (23).

25 В основании зоны S6 средства извлечения, такие как охлаждаемый шнек, позволяют извлекать поток частиц (24), содержащий не менее 10% масс.% топочных зол.

Фигура 2:

30 Фиг. 2 иллюстрирует частный вариант применения зоны восстановления в рамках заявленного способа. Для упрощения на фиг. 2 зона окисления химического контура не показана.

Как показано на фиг. 2, зона восстановления, состоящая из трех зон (R1, R2, S3), содержит плотный кипящий слой R1, над которым находится конус ускорения, сообщающийся с транспортной трубой R2, обеспечивающей прохождение потока в разбавленном кипящем слое, при этом транспортная труба R2 выходит в зону разделения  
35 S3, представляющую собой камеру большого диаметра, в которой скорость газа регулируют для обеспечения отделения частиц носителя кислорода, в основном удаляемых в (9), от более легких частиц (несгоревшее топливо, летучие золы и мелкие частицы материала-носителя кислорода), удаляемых в (13) в дымоход. Средства пылеулавливания в дымоходе (13) состоят из двух ступеней последовательных циклонов  
40 S4. Частицы, отделяемые этими циклонами S4, выбрасываются в кипящий слой D7, работающий при скорости псевдоожижения, близкой к минимальной скорости псевдоожижения, чтобы избежать любого увлечения частиц с газом псевдоожижения, и позволяющий разделить на две части поток отделенных частиц при помощи двух трубопроводов (16) и (17), соединенных с плотной фазой кипящего слоя D7. Поток (16)  
45 рециркулируют в восстановительный реактор, а поток (17) направляют в кипящий слой S5. В кипящем слое S5 скорость, сообщаемая газу псевдоожижения, является высокой и способствует увлечению легких частиц (летучие золы и, возможно, несгоревшее топливо, а также мелкие частицы материала-носителя кислорода), которые выходят

вместе с газом псевдоожижения в трубопровод (18). Остальную часть частиц рециркулируют в первую зону установления контакта восстановительного реактора R1.

В нижнем продолжении зоны R1 сжигания в плотной фазе усеченная конусная секция S6 обеспечивает осаждение агломерированных зол, которые постепенно опускаются в нижнюю часть усеченного конусного сечения S6. Предпочтительно скорость псевдоожижения вдоль усеченной конусной секции S6 составляет от 1 до 3-кратной минимальной скорости псевдоожижения частиц материала-носителя кислорода, чтобы способствовать осаждению агломерированных зол, которые являются намного более крупными, чем материал-носитель кислорода. В этих условиях не агломерированные частицы оксидов, летучие золы и топливо могут проходить в двух направлениях между зоной S6 и зоной R1. Половина угла конуса относительно вертикали предпочтительно составляет от 5 до 30°, предпочтительно имеет значение около 15°. В основании конуса охлаждаемый шнек обеспечивает удаление агломерированных зол в смеси с частью частиц материала-носителя кислорода. В усеченной конусной секции, начиная от низа конуса, ступенчато расположены аэрационные каналы. В основании конуса на первом уровне нагнетаемый аэрационный поток соответствует, например, расходу, создающему от 1 до 3-кратной минимальной скорости материала-носителя кислорода на втором уровне, находящемся в конусе выше. На втором уровне расход нагнетаемого потока соответствует необходимому дополнению аэрации, создающему скорость, равную 1-3-кратной минимальной скорости псевдоожижения материала-носителя кислорода на третьем уровне, находящемся в конусе выше, и так далее до самого основания топливного реактора. В зависимости от высоты конуса число аэрационных каналов определяют таким образом, чтобы нагнетание производилось примерно через каждый метр. Предпочтительно нагнетаемым аэрационным газом является CO<sub>2</sub> или водяной пар.

Работе описанного выше способа способствует применение материала-носителя кислорода, имеющего гранулометрический состав и плотность зерна, способствующие разделению с частицами летучих зол, несгоревшего топлива и агломерированных зол. Предпочтительно гранулометрический состав носителя кислорода выбирают таким образом, чтобы 90 масс.% частиц имели гранулометрический размер от 100 до 500 микрон, предпочтительно 90% от 150 до 300 микрон, еще предпочтительнее 95% от 150 до 300 микрон.

Кроме того, плотность зерна частиц носителя кислорода предпочтительно превышает 2500 кг/м<sup>3</sup>, предпочтительно превышает 3400 кг/м<sup>3</sup> и еще предпочтительнее - превышает 4000 кг/м<sup>3</sup>.

Фигура 3: Фиг. 3 иллюстрирует гранулометрический состав летучих зол, производимых при сжигании угля в химическом контуре согласно представленному ниже примеру.

#### Пример

Следующий пример позволяет проиллюстрировать изобретение на основании моделирования работы установки мощностью 3 МВт.ч.

В эту установку загружают уголь с расходом 420 кг/ч при содержании зол 13,9 масс.% и при содержании летучих веществ 29,9%.

Уголь загружают в топливный реактор с гранулометрическим составом, при котором менее 2% угля имеет размер частиц, превышающий 200 микрон.

Гранулометрический состав носителя кислорода является таким, что 90 масс.% частиц

имеют гранулометрический размер от 150 до 300 микрон, а плотность носителя кислорода близка к  $4000 \text{ кг/м}^3$ .

В качестве примера гранулометрический состав летучих зол представлен на фиг. 3.

Топливный реактор содержит три зоны:

- первую реакционную зону R1 установления контакта частиц твердой загрузки с частицами металлических оксидов в плотном кипящем слое,
- зону сжигания в разбавленной фазе (вторая реакционная зона R2) газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны, в присутствии частиц металлических оксидов,
- зону S3 разделения частиц внутри смеси, выходящей из зоны сжигания в разбавленной фазе, позволяющую отбирать вместе с дымами большую часть частиц недожога.

Сжигание происходит в топливном реакторе при контакте с металлическим оксидом, переносящим 1,9 масс.% кислорода, с расходом потока из воздушного реактора, составляющим около 35500 кг/ч.

Поток (13), увлекаемый на выходе зоны S3 быстрого разделения, состоит из мелких частиц металлического оксида, летучих зол и частиц несгоревшего угля.

Этот поток имеет следующий состав:

металлический оксид: 6000 кг/ч;  
золы: 340 кг/ч;  
несгоревший уголь = 100,5 кг/ч.

После пылеулавливания отделенные частицы, выходящие через трубопровод (15) и увлекаемые в кипящий слой деления D7, имеют следующий состав:

металлический оксид: 5990 кг/ч;  
золы: 333 кг/ч;  
несгоревший уголь = 100 кг/ч.

Кипящий слой D7 делит поток (15) на два потока (16) и (17) одинакового состава, содержащих соответственно 85% и 15% потока (15). Кипящий слой D7 представляет собой кипящий слой диаметром 60 см, работающий при скорости псевдоожижения 8 см/с. Поток (22), питающий кипящий слой-декантатор, имеет следующий состав:

металлический оксид: 899 кг/ч;  
золы: 50 кг/ч;  
несгоревший уголь = 15 кг/ч.

Поток (16), возвращаемый в топливный реактор, имеет следующий состав:

металлический оксид: 5091 кг/ч;  
золы: 283 кг/ч;  
несгоревший уголь = 85 кг/ч.

Декантатор позволяет удалить около 80% зол из потока (17). В данном случае декантатор представляет собой кипящий слой диаметром 0,8 м, работающий при скорости псевдоожижения 0,75 м/с. Псевдоожижение декантатора происходит при помощи  $\text{CO}_2$ , поступающего через трубопровод (19). Поток, поступающий в декантатор через трубопровод (18), имеет следующий состав:

металлический оксид: 29 кг/ч;  
золы: 40 кг/ч;  
несгоревший уголь = 12 кг/ч.

Поток, выходящий через трубопровод (20) и обеспечивающий рециркуляцию в топливный реактор частиц, не увлекаемых в декантатор, имеет следующий состав:

металлический оксид: 870 кг/ч;

золы: 10 кг/ч;

несгоревший уголь = 3 кг/ч.

Низ зоны установления контакта R1 топливного реактора имеет диаметр 917 мм и продолжен в своей нижней части (снизу) конусом с половиной угла  $15^\circ$  относительно вертикали, имеющим высоту 1711 мм, в котором расположены 2 аэрационных уровня, один из которых находится в основании конуса и позволяет вводить 7 кг/ч пара, а другой находится на половине высоты и позволяет вводить 20 кг/ч пара. В этих условиях средняя скорость псевдоожижения металлического оксида имеет значение, близкое к 2-3-кратной минимальной скорости псевдоожижения металлических оксидов и позволяет извлекать около 9 кг/ч агломерированных зол средним диаметром от 0,5 до 5 мм в основании конуса при помощи средств извлечения (24), содержащих охлаждаемый шнек, в смеси с 30 кг/ч металлического оксида.

Поток (9), удаляющий частицы, не отделенные в S3, в воздушный реактор (R0), имеет следующий состав:

металлический оксид: 35441 кг/ч;

золы: 2 кг/ч;

несгоревший уголь = 8 кг/ч.

Золы и уголь, направляемые в воздушный реактор, удаляются в ходе повторного окисления металлического оксида. Уголь, сгоревший в воздушном реакторе при контакте с воздухом, и золы удаляются с прохождением через циклон. Металлический оксид, предназначенный для компенсации потерь оксида во время декантации, добавляют в воздушный реактор периодически.

Представленный выше пример иллюстрирует работу способа сжигания угля в химическом контуре, позволяющего непрерывно удалять золы.

Так, при сжигании угля образуется поток зол с расходом 58 кг/ч. Они удаляются в следующих потоках:

- летучие золы, увлекаемые в воздушный реактор (зона окисления R0) потоком (9) после осаждения в смеси с материалом-носителем кислорода в зоне быстрого разделения S3 = 2 кг/ч;

- агломерированные топочные золы, извлекаемые шнеком (24) = 9 кг/ч;

- летучие золы, увлекаемые на выходе циклонов S4 вместе с дымами топливного реактора в потоке (14) = 7 кг/ч;

- летучие золы, увлекаемые в газообразных отходах, выходящих через трубопровод (18) декантатора S5 = 40 кг/ч.

Благодаря этому непрерывному удалению скапливание зол в установке остается ограниченным (циркуляция зол в топливном реакторе 350 кг/ч по сравнению с циркуляцией оксида 35500 кг/ч, то есть при концентрации около 1%).

Кроме того, уголь сгорает в основном в топливном реакторе при контакте с металлическим оксидом, что позволяет предусматривать степень улавливания более 90%. Действительно, в топливный реактор поступает 420 кг/ч угля.

Несгоревший уголь перемещается в воздушный реактор (R0) через трубопровод (9) с расходом 8 кг/ч.

Несгоревший уголь, увлекаемый в декантатор S5 через трубопровод (18), имеет расход 12 кг/ч.

Несгоревший уголь, увлекаемый на выходе зоны S4 очистки дымов от пыли через трубопровод (14), имеет расход 0,5 кг/ч.

Формула изобретения

1. Способ сжигания углеводородной загрузки из твердых частиц в химическом контуре, в котором циркулирует материал-носитель кислорода в виде частиц, при этом упомянутый способ включает, по меньшей мере:

- приведение в контакт частиц твердой загрузки и частиц материала-носителя кислорода в первой реакционной зоне R1, работающей в плотном кипящем слое;
  - сжигание газообразных отходов, выходящих из первой реакционной зоны R1, в присутствии частиц материала-носителя кислорода во второй реакционной зоне R2;
  - разделение несгоревших частиц твердой загрузки, летучих зол и частиц материала-носителя кислорода внутри смеси, выходящей из зоны R2, в зоне быстрого разделения S3 для перемещения вместе с дымами горения (13) основной части несгоревших частиц твердой загрузки и летучих зол и направления основной части частиц материала-носителя кислорода в зону окисления R0;
  - очистку от пыли дымов (13), выходящих из зоны быстрого разделения S3, в зоне очистки дымов от пыли S4 для удаления потока очищенных от пыли газов (14) и потока частиц (15), содержащего золы и плотные частицы, в основном образовавшиеся из частиц носителя кислорода и из частиц несгоревшей твердой загрузки;
  - разделение потока частиц (15), отделенных на этапе пылеулавливания S4, на два потока в зоне разделения потока D7,
- при этом один из них рециркулируют в реакционную зону R1, работающую в плотном кипящем слое, а другой направляют в зону разделения S5 посредством декантации;
- разделение посредством декантации в упомянутой зоне S5 для рекуперации зол и рециркуляции плотных частиц в первую реакционную зону R1.

2. Способ по п. 1, включающий:

- осаждение агломерированных топочных зол в нижней части первой реакционной зоны R1 в зоне псевдоожижения S6, расположенной под первой реакционной зоной R1,
- извлечение потока частиц (24), содержащего по меньшей мере 10 мас.% агломерированных топочных зол.

3. Способ по п. 2, в котором псевдоожижение зоны S6 осуществляют при помощи газа со скоростью газа псевдоожижения в наибольшем проходном сечении зоны S6, которая не превышает 3-кратной минимальной скорости псевдоожижения материала-носителя кислорода.

4. Способ по п. 3, в котором извлечение агломерированных зол из зоны псевдоожижения S6 осуществляют при помощи охлаждаемого шнека.

5. Способ по п. 1, в котором твердую загрузку выбирают из угля, кокса, нефтяного кокса, биомассы, битумных песков и бытовых отходов.

6. Способ по п. 1, в котором материал-носитель кислорода представляет собой сыпучее твердое вещество с размером частиц, при котором гранулометрический состав на 90% находится в пределах от 150 до 300 микрон.

7. Способ по п. 1, в котором газ псевдоожижения, подаваемый в зону разделения S5 посредством декантации, по меньшей мере, частично состоит из дымов, производимых при сжигании твердой загрузки.

8. Способ по п. 7, в котором газ псевдоожижения, подаваемый в зону разделения S5 посредством декантации, полностью состоит из дымов, производимых при сжигании твердой загрузки.

9. Способ по п. 1, в котором поток, непосредственно рециркулируемый в первую реакционную зону R1, работающую в плотном кипящем слое, составляет по меньшей мере 50% потока, поступающего в зону разделения потока D7.

10. Способ по п. 9, в котором поток, непосредственно рециркулируемый в первую

реакционную зону R1, работающую в плотном кипящем слое, составляет по меньшей мере 80% потока, поступающего в зону разделения потока D7.

11. Способ по п. 1, в котором концентрация летучих зол в смеси частиц, циркулирующей в зоне сжигания, составляет менее 5 мас. %.

5 12. Способ по п. 11, в котором концентрация летучих зол в смеси частиц, циркулирующей в зоне сжигания, составляет менее 1 мас. %.

13. Установка для сжигания твердой углеводородной загрузки в химическом контуре окисления-восстановления при помощи способа по одному из пп. 1-12, при этом упомянутая установка содержит, по меньшей мере:

10 - первую реакционную зону R1, содержащую вход для твердого топлива (10), вход для газа псевдоожижения (11) и вход для частиц носителя кислорода (8), поступающих из зоны окисления R0,

- вторую реакционную зону R2, в которую поступает газообразный отход сжигания, содержащий частицы, поступающие из первой реакционной зоны R1,

15 - зону быстрого разделения S3 твердых частиц, в которую поступает газообразный отход сжигания из второй реакционной зоны R2, содержащий золы, частицы носителя кислорода и частицы несгоревшей твердой загрузки, и которая содержит выходной трубопровод (9) для удаления большей части частиц материала-носителя кислорода в зону окисления R0,

20 - зону очистки дымов от пыли S4, в которую через вход (13) поступают наиболее легкие частицы, увлекаемые газообразными продуктами сжигания, выходящими из зоны быстрого разделения S3,

- зону разделения потока D7, в которую через вход (15) поступает поток частиц, отделенных от дымов в зоне очистки S4 дымов от пыли, при этом упомянутый поток 25 содержит золы и плотные частицы, в основном образованные частицами носителя кислорода и частицами несгоревшей твердой загрузки,

- зону разделения S5 посредством декантации, в которую через вход (17) поступает меньшая часть потока частиц, разделенного в зоне разделения потока D7, и которая содержит трубопровод (19), обеспечивающий подачу газа псевдоожижения, и 30 трубопровод (18) удаления легких частиц, в основном содержащих летучие золы и мелкие частицы материала-носителя кислорода,

- трубопровод (16), отходящий от зоны разделения потока D7, для непосредственной рециркуляции основной части потока частиц, разделенного в зоне разделения потока D7, в первую реакционную зону R1,

35 - трубопровод (20), отходящий от зоны разделения S5 посредством декантации, для рециркуляции плотных частиц, отделенных посредством декантации, в первую реакционную зону R1.

14. Установка по п. 13, в которой проходное сечение второй реакционной зоны R2 меньше проходного сечения первой реакционной зоны R1.

40 15. Установка по одному из пп. 13 или 14, содержащая зону осаждения агломерированных топочных зол, находящуюся под первой реакционной зоной R1 и содержащую:

- трубопровод подачи агломерированных зол (21),

- зону псевдоожижения S6,

45 - один или несколько трубопроводов (22), обеспечивающих подачу газа псевдоожижения,

- выходной трубопровод (23) удаления частиц носителя кислорода для их рециркуляции в первую реакционную зону R1,

- средства извлечения потока частиц (24), содержащего по меньшей мере 10 мас.% агломерированных топочных зол.

16. Установка по п. 15, в которой зона псевдоожижения S6 является усеченной конусной зоной с половиной угла относительно вертикали, меньшей или равной  $15^\circ$ .

5

10

15

20

25

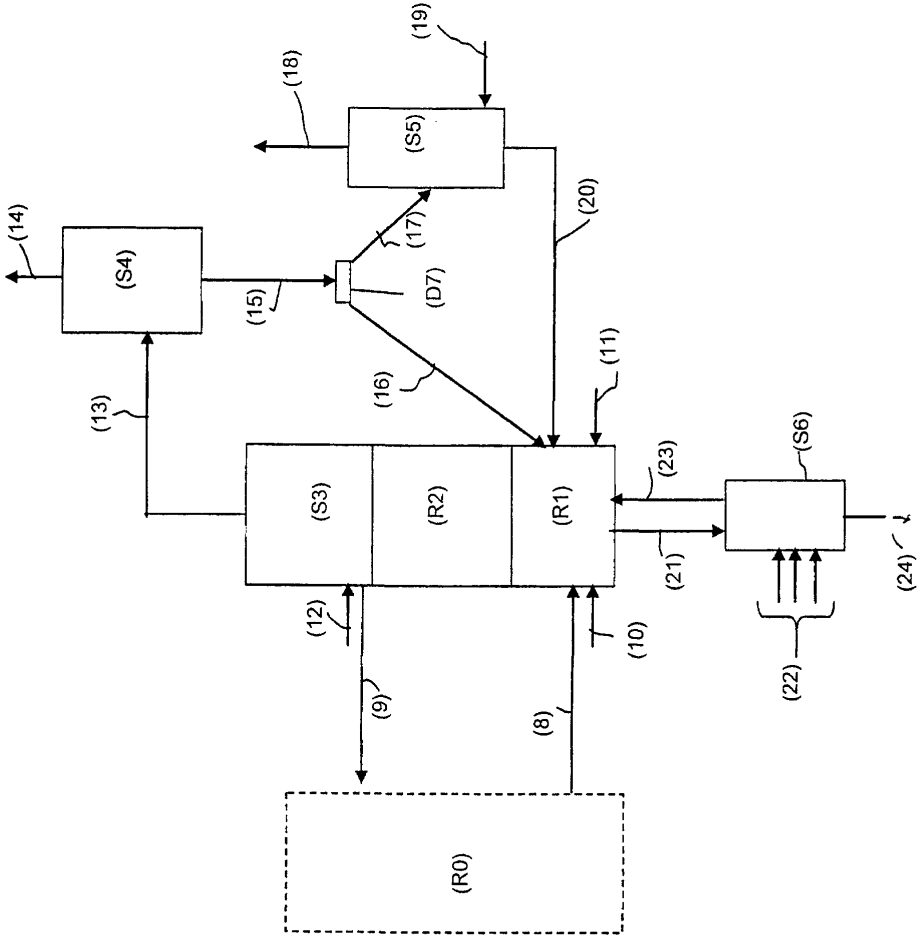
30

35

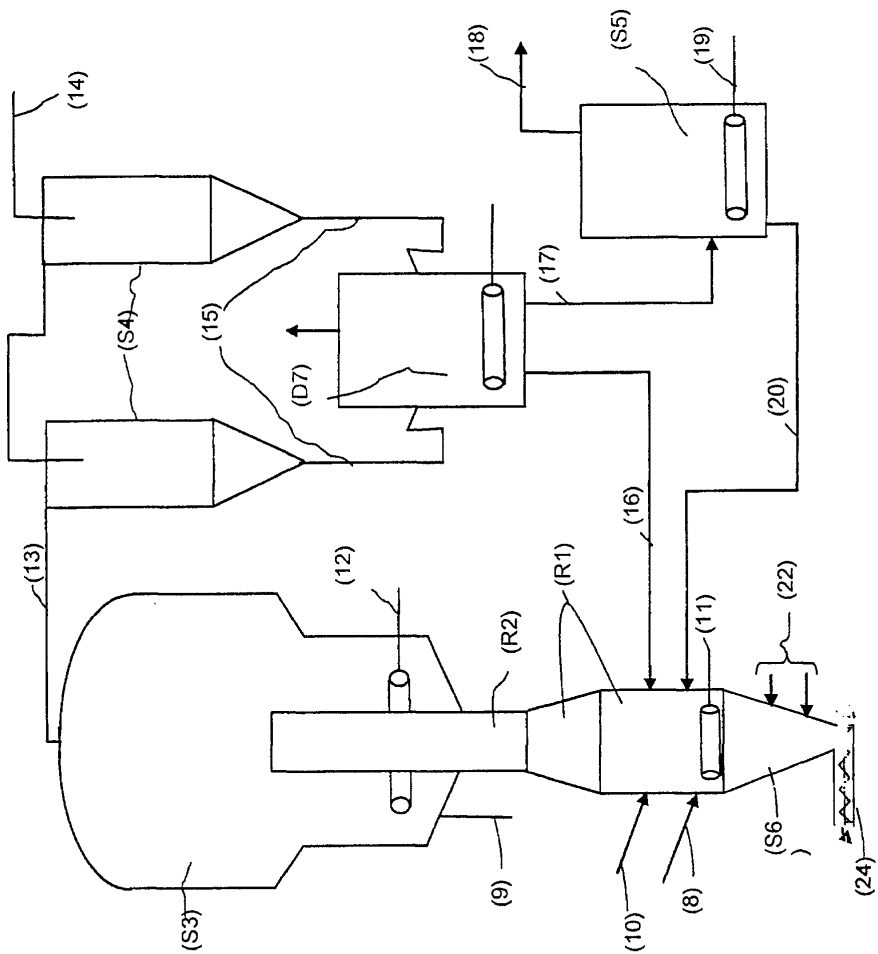
40

45

Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

