

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202092465 (13) A1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2021.01.22(51) Int. Cl. C21B 13/00 (2006.01)  
C21B 13/02 (2006.01)  
F27D 3/16 (2006.01)(22) Дата подачи заявки  
2018.07.03

## (54) СИСТЕМА И СПОСОБ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ, В КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ТРУБОПРОВОД ПРЯМОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА

(31) 16/007,045

(72) Изобретатель:

(32) 2018.06.13

Хьюз Грегори Дарел, Митисита  
Харуясу (US)

(33) US

(86) PCT/US2018/040676

(74) Представитель:

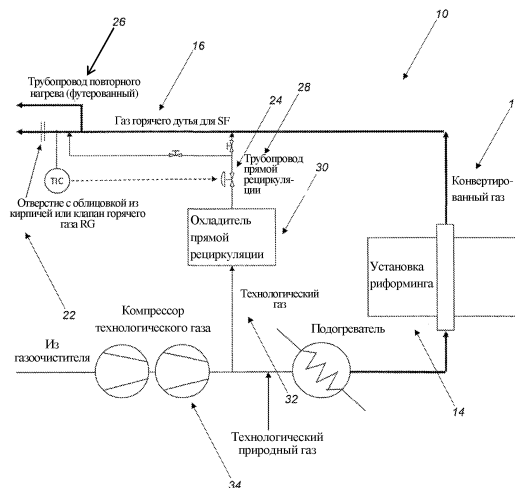
(87) WO 2019/240828 2019.12.19

Носырева Е.Л. (RU)

(71) Заявитель:

МИДРЭКС ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.  
(US)

(57) Система и способ прямого восстановления для восстановления оксида металла до металла, содержащие и включающие трубопровод технологического газа, выполненный с возможностью доставки части технологического газа в установку риформинга, выполненную с возможностью риформинга технологического газа с образованием конвертированного газа; кольцевой трубопровод горячего дутья для газа, выполненный с возможностью доставки конвертированного газа в шахтную печь в качестве газа горячего дутья, при этом шахтная печь выполнена с возможностью восстановления оксида металла до металла; и трубопровод прямой рециркуляции, содержащий охладитель прямой рециркуляции и выполненный с возможностью избирательной доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа в обход установки риформинга и, таким образом, избирательного охлаждения и снижения влагосодержания газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь. Необязательно, система прямого восстановления дополнительно содержит трубопровод повторного нагрева, выполненный с возможностью доставки части газа горячего дутья в шахтную печь в качестве газа повторного нагрева.



A1

202092465

202092465

A1

**СИСТЕМА И СПОСОБ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ, В КОТОРЫХ  
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ТРУБОПРОВОД ПРЯМОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА**

**ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ**

[0001] Настоящее изобретение в целом относится к системе и способу прямого восстановления (DR). В частности настоящее изобретение относится к системе и способу DR, в которых используется трубопровод прямой рециркуляции технологического газа (DRL). Настоящее изобретение находит применение в производстве железа прямого восстановления (DRI) или т.п. в шахтной печи (SF), хорошо известном специалистам средней квалификации в данной области техники.

**ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[0002] На фиг. 1 изображен традиционный способ 10 DR, в котором «конвертированный газ» 12 из установки 14 риформинга, главным образом  $H_2$  и CO, полученные путем риформинга природного газа, смешивается с  $O_2$  и обогащающим природным газом с образованием «газа 16 горячего дутья», который подается через систему горячего дутья и фурм в SF, например, для восстановления оксида железа до металлизированного железа. Перед выдерживанием оксидом железа более высоких температур газа горячего дутья, главным образом из-за спекания или плавления в SF, газ 16 горячего дутья обычно кондиционируют перед поступлением в SF. В настоящее время для содействия применению более высоких температур газа горячего дутья реализуют известковое или цементное покрытие оксида железа. Это покрытие препятствует спеканию или прилипанию металлизированного железного материала, и, таким образом, газ 16 горячего дутья в этом случае можно вводить в SF без кондиционирования. Обычно температура используемого газа 16 горячего дутья составляет 800—850 °C, однако при использовании покрытия оксида в настоящее время возможна температура 950—980 °C, тогда как температура конвертированного газа 12 составляет приблизительно 950 °C.

[0003] Во время запуска с холодным оксидом железа, которым первоначально заполнена SF, во избежание образования кластеров или плавления материала необходимо применять газ горячего дутья с более низкой температурой (обычно 700—750 °C). Обычно введение восстановителя/углеводорода (т.е. природного газа) в газ, рециркулирующий через установку 14 риформинга и SF, представляет проблему, поскольку реакция восстановления  $Fe_2O_3$  до  $Fe_3O_4$  под действием CO или  $H_2$  является экзотермической. Оксид железа обычно находится в твердых окатышах и образован главным образом из гематита ( $Fe_2O_3$ ). До тех пор, пока оксид железа ( $Fe_2O_3$ ), загруженный в SF, не превратится в  $Fe_3O_4$  или FeO, температура шихты продолжает повышаться. Повышение температуры шихты трудно проконтролировать или сдержать до тех пор, пока она не пройдет через пиковую температуру, называемую «оксидным пиком», вызванную большой массой оксида железа в SF. Для выдерживания оксидного пика без образования кластеров необходимо использовать газ горячего дутья с более низкой температурой с целью поддержания пиковой температуры шихты ниже температуры плавления или спекания материала. Следует отметить, что температуры конвертированного газа 12 и установки 14 риформинга не являются очень гибкими. Поскольку температуру конвертированного газа поддерживают на уровне 950 °C для предотвращения осаждения углерода в установке 14 риформинга, температуру газа горячего дутья кондиционируют до 700—750 °C ниже по потоку относительно установки 14 риформинга.

[0004] На фиг. 1 изображена современная система, в которой параллельно кольцевому трубопроводу 16 горячего дутья для газа установлен охладитель 18 конвертированного газа (RGC), прямое охлаждение в воде, охладитель со слоем насадки или т.п. Температуру газа 16 горячего дутья понижают и контролируют перед поступлением в SF путем смешивания охлажденного побочного потока газа 20 горячего дутья, проходящего через RGC 18, с горячим газом 16 горячего дутья, обходящим RGC 18. Для обеспечения перепада давления, необходимого для направления достаточного потока через RGC 18, в обводном трубопроводе 20 необходимо установить ограничитель 22 потока, такой как отверстие с облицовкой из кирпичей или клапан горячего газа.

[0005] Запуск с оксидом железа в SF случается редко, вероятно не чаще одного или двух раз в год. Во время нормальной эксплуатации установки RGC 18 простаивает, и

горячий газ не подается в RGC 18 путем перекрытия изолирующего клапана 24, однако насос продолжает подавать охлаждающую воду. Биологическое загрязнение насадки RGC также представляет проблему, так как температура в RGC 18 благоприятна для роста бактерий во время простоя. До использования покрытия оксида температура RGC 18 была достаточной высокой для сдерживания роста бактерий при эксплуатации RGC 18 во время нормальной эксплуатации установки. Подачу охлаждающей воды в RGC 18 нельзя прекратить, так как она препятствует перегреву RGC 18 горячим газом 16 горячего дутья, протекающим через изолирующий клапан 24 большого диаметра, например 600 мм или более.

[0006] Некоторые SF содержат трубопровод 26 повторного нагрева для повторного нагрева материала в нижней части SF, где вдувается часть горячего конвертированного газа 12. Трубопровод 26 повторного нагрева представляет собой длинный футерованный канал, рассчитанный на отбор горячего восстановительного газа 12 из места с более высоким давлением, расположенного выше по потоку относительно RGC 18 и отверстия 22 с облицовкой из кирпичей.

[0007] Другие SF, не содержащие трубопровод 26 повторного нагрева, в основном теряют энергию при применении отверстия 22 с облицовкой из кирпичей (т.е. отверстия постоянного сечения). В некоторых установках для уменьшения перепада давления во время простоя RGC 18 был применен регулируемый ограничитель потока клапана 22 горячего газа. Этот клапан 22 горячего газа часто не изменяет положение при необходимости. Механический клапан 22 большого размера деформируется при его подвергании действию высоких температур в неподвижном положении в течение длительных промежутков времени или в отсутствие подачи достаточного количества охлаждающей воды во время нормальной эксплуатации.

[0008] Таким образом, вне зависимости от того, установлен или нет трубопровод 26 повторного нагрева, из-за более высокого давления (обычно 1,5 бар и.д.) газа 16 горячего дутья и более низкого уровня установки RGC 18 для RGC 18 требуется глубокая подземная герметичная барометрическая труба со шлюзовым затвором для отвода воды и герметизации давления. Кроме того, для предотвращения перегрева RGC 18 из-за утечки через изолирующий клапан 24 RGC в RGC 18 необходимо постоянно подавать охлаждающую воду. Это вызывает биологическое загрязнение насадки RGC

бактериями. Кроме того, непрерывная подача воды увеличивает потребление электроэнергии насосом.

[0009] При наличии трубопровода 26 повторного нагрева, из-за расположения RGC 18 и отверстия с облицовкой из кирпичей или клапана 22 горячего газа вблизи установки 14 риформинга, для трубопровода 26 повторного нагрева требуется более длинный футерованный канал. Это повышает капиталовложения и ухудшает тепловые характеристики трубопровода 26 повторного нагрева из-за более высоких тепловых потерь с поверхности канала.

[0010] В отсутствие трубопровода 26 повторного нагрева отверстие 22 с облицовкой из кирпичей увеличивает перепад давления в кольцевом трубопроводе 16 горячего дутья для газа, что увеличивает нагрузку компрессора. Вместо отверстия 22 с облицовкой из кирпичей можно применить механический регулируемый клапан 22 горячего газа, однако он часто не действует должным образом из-за подвергания его воздействию высокой температуры и более низкой частоты эксплуатации.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАСТОЯЩЕГО ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0011] Ссылаясь теперь конкретно на фиг. 1 и 2, в различных примерных вариантах осуществления, настоящее изобретение решает освещенные выше проблемы. Концепции настоящего изобретения наиболее применимы в случаях, когда газ 16 горячего дутья кондиционируется нечасто, например, во время пускового периода.

[0012] RGC 18 и ограничитель 22 потока, такой как отверстие с облицовкой из кирпичей, заменены трубопроводом 28 прямой рециркуляции с другим охладителем со слоем насадки, охладителем 30 прямой рециркуляции (DRC). DRC 30 уменьшает температуру (обычно 180 °C) и влажность (обычно 10—15%) технологического газа 32, выпускаемого из компрессора 34. Охлажденный технологический газ 32 смешивается с горячим конвертированным газом 12 с целью снижения температуры и влажности газа 16 горячего дутья, поступающего в SF. Снижение влажности газа 16 горячего дутья важно для предотвращения повторного окисления материала в SF, которое может вызвать значительный простой установки и увеличить количество продукта с отклонениями от технических требований.

[0013] DRC 30 устанавливается на возвышении достаточно высоко для исключения потребности в подземной герметичной барометрической трубе со шлюзовым затвором, так как DRC 30 может быть спланирован гибко и независимо от SF и установки 18 риформинга за счет прокладки простого канала из углеродистой стали. Вместо нее можно использовать U-образное барометрическое приспособление со шлюзовым затвором.

[0014] Подачу охлаждающей воды можно прекращать во время простоя DRC 30, или периода нормальной эксплуатации установки, поскольку DRC 30 не имеет проблемы перегрева благодаря более низкой температуре входящего газа. Это экономит электроэнергию, потребляемую насосом, и исключает биологическое загрязнение насадки бактериями.

[0015] Замена RGC 18, охлаждающего газ 16 горячего дутья с температурой 900 °C, DRC 30, охлаждающим технологический газ 32 с температурой 180 °C, исключает футерованный канал около RGC 18 и уменьшает размер охладителя со слоем насадки.

[0016] Что касается трубопровода 26 повторного нагрева, исключение RGC 18 позволяет ответить трубопровод 26 повторного нагрева от кольцевого трубопровода 16 горячего дутья для газа намного ближе к SF. Из-за меньшей длины футерованного канала уменьшаются капиталовложения. Это также уменьшает тепловые потери из трубопровода повторного нагрева для повышения температуры на выходе горячего DRI и экономит электроэнергию, потребляемую электродуговой печью. В случае установок для производства горячебрикетированного железа (HBI) таким образом можно уменьшить количество небрикетированного продукта из-за низкой температуры на выходе.

[0017] В отсутствие трубопровода 26 повторного нагрева, исключение RGC 18 и отверстия 22 с облицовкой из кирпичей из кольцевого трубопровода 16 горячего дутья для газа уменьшает перепад давления, экономя электроэнергию, потребляемую компрессором 34 во время периода нормальной эксплуатации. Альтернативно, таким образом, будет исключен механический регулируемый клапан 22 горячего газа в случае его установки вместо отверстия 22 с облицовкой из кирпичей.

[0018] В одном примерном варианте осуществления настоящее изобретение предусматривает систему прямого восстановления для восстановления оксида металла

до металла, содержащую: трубопровод технологического газа, выполненный с возможностью доставки части технологического газа в установку риформинга, выполненную с возможностью риформинга технологического газа с образованием конвертированного газа; кольцевой трубопровод горячего дутья для газа, выполненный с возможностью доставки конвертированного газа в шахтную печь в качестве газа горячего дутья, при этом шахтная печь выполнена с возможностью восстановления оксида металла до металла; и трубопровод прямой рециркуляции, содержащий охладитель прямой рециркуляции и выполненный с возможностью избирательной доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа в обход установки риформинга и, таким образом, избирательного охлаждения и снижения влагосодержания газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь. Трубопровод технологического газа содержит компрессор технологического газа, выполненный с возможностью сжатия технологического газа перед доставкой технологического газа в охладитель прямой рециркуляции и/или установку риформинга. Трубопровод технологического газа дополнительно содержит подогреватель технологического газа, выполненный с возможностью подогрева части технологического газа перед доставкой части технологического газа в установку риформинга. Трубопровод технологического газа также дополнительно содержит регулятор расхода, выполненный с возможностью избирательного разблокирования/блокирования потока части технологического газа в охладитель прямой рециркуляции. Трубопровод прямой рециркуляции содержит канал в сборе, расположенный на возвышении достаточно высоко для сохранения длины гидравлического затвора с использованием U-образной конструкции затвора без подземного шлюзового затвора. Охладитель прямой рециркуляции содержит охладитель со слоем насадки. Необязательно, система прямого восстановления дополнительно содержит трубопровод повторного нагрева, выполненный с возможностью доставки части газа горячего дутья в шахтную печь в качестве газа повторного нагрева, при этом трубопровод повторного нагрева соединен с кольцевым трубопроводом горячего дутья для газа между трубопроводом прямой рециркуляции и шахтной печью. Кольцевой трубопровод горячего дутья для газа содержит ограничитель потока, выполненный с возможностью избирательного направления части газа горячего дутья в трубопровод повторного нагрева. Трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод

горячего дутья для газа и избирательного охлаждения газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 950—980 °С до 700—950 °С. Трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательной осушки газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 5—15% H<sub>2</sub>O до 4—6% H<sub>2</sub>O.

[0019] В другом примерном варианте осуществления настоящее изобретение предусматривает способ прямого восстановления для восстановления оксида металла до металла, включающий: доставку через трубопровод технологического газа части технологического газа в установку риформинга, выполненную с возможностью риформинга технологического газа с образованием конвертированного газа; доставку через кольцевой трубопровод горячего дутья для газа конвертированного газа в шахтную печь в качестве газа горячего дутья, при этом шахтная печь выполнена с возможностью восстановления оксида металла до металла; и избирательную доставку через трубопровод прямой рециркуляции, содержащий охладитель прямой рециркуляции, части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа в обход установки риформинга и, таким образом, избирательное охлаждение и снижение влагосодержания газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь. Трубопровод технологического газа содержит компрессор технологического газа, выполненный с возможностью сжатия технологического газа перед доставкой технологического газа в охладитель прямой рециркуляции и/или установку риформинга. Трубопровод технологического газа дополнительно содержит подогреватель технологического газа, выполненный с возможностью подогрева части технологического газа перед доставкой этой части технологического газа в установку риформинга. Трубопровод технологического газа также дополнительно содержит регулятор расхода, выполненный с возможностью избирательного разблокирования/блокирования потока части технологического газа в охладитель прямой рециркуляции. Трубопровод прямой рециркуляции содержит канал в сборе, расположенный на возвышении достаточно высоко для сохранения длины гидравлического затвора с использованием U-образной конструкции затвора без подземного шлюзового затвора. Охладитель прямой рециркуляции содержит охладитель со слоем насадки. Необязательно, способ прямого восстановления дополнительно включает доставку через трубопровод повторного нагрева части газа



горячего дутья в шахтную печь в качестве газа повторного нагрева, при этом трубопровод повторного нагрева соединен с кольцевым трубопроводом горячего дутья для газа между трубопроводом прямой рециркуляции и шахтной печью. Кольцевой трубопровод горячего дутья для газа содержит ограничитель потока, выполненный с возможностью избирательного направления части газа горячего дутья в трубопровод повторного нагрева. Трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательного охлаждения газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 950—980 °С до 700—950 °С. Трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательной осушки газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 5—15% H<sub>2</sub>O до 4—6% H<sub>2</sub>O.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0020] Настоящее изобретение представлено и описано в данном документе со ссылкой на различные графические материалы, на которых подобные номера ссылок используют для обозначения подобных компонентов системы/этапов способа, соответственно, и на которых:

[0021] На фиг. 1 представлена принципиальная схема, на которой показан традиционный способ DR, в котором используется RGC 18 и трубопровод 26 повторного нагрева;

[0022] На фиг. 2 представлена принципиальная схема, на которой показан один примерный вариант осуществления способа DR согласно настоящему изобретению, в котором используется трубопровод 28 прямой рециркуляции, DRC 30 и трубопровод 26 повторного нагрева; и

[0023] На фиг. 3 представлена принципиальная схема, на которой показан другой примерный вариант осуществления способа DR согласно настоящему изобретению, в котором используется трубопровод 28 прямой рециркуляции и DRC 30.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0024] Ссылаясь теперь конкретно на фиг. 2 и 3, в целом, что касается кондиционирования газа 16 горячего дутья во время пускового периода при запуске с SF, полностью заполненным холодным оксидом железа или т.п., температуру газа 16 горячего дутья, вводимого в SF, обычно необходимо контролировать на уровне 700—750 °С, и, во избежание плавления или окисления материала, как упомянуто выше в данном документе, необходимо поддерживать в газе 16 горячего дутья низкое влагосодержание. Часть технологического газа 32 из компрессора 34 технологического газа обходит установку 14 риформинга для смешивания с горячим конвертированным газом 12. Этот обход также называется «трубопроводом 28 прямой рециркуляции». Охладитель 30 со слоем насадки (DRC) установлен в трубопроводе 28 прямой рециркуляции для снижения температуры и влагосодержания технологического газа 32, обычно со 180 °С и 10—15% H<sub>2</sub>O до менее чем 40 °С и 1,5—2% H<sub>2</sub>O. Во время пускового периода скорость потока, вводимого в DRC 30, регулируют при помощи клапана-регулятора 24 потока с целью поддержания целевой температуры газа горячего дутья. Во время нормальной эксплуатации установки, когда какое-либо кондиционирование газа 16 горячего дутья не требуется, технологический газ 32 не вводится в DRC 30 и не смешивается с конвертированным газом 12. Регулятор расхода, или отсечной клапан 24, полностью перекрыт. Преимущественно, во время простоя DRC 30 охлаждающая вода не подается. По причине низкой температуры и более высокого давления в трубопроводе 28 прямой рециркуляции, диаметр клапана-регулятора 24 является небольшим, например 400 мм или менее. Поэтому следует ожидать лучших герметизирующих характеристик, когда клапан 24 перекрыт. Даже если в клапане 24 возникнет небольшая утечка, она не повлияет на способ 10 в целом.

[0025] Трубопровод 28 прямой рециркуляции выполнен из канала из углеродистой стали или т.п. Преимущественно DRC 30 не содержит футерованных частей и имеет меньший диаметр, чем RGC 18 (фиг. 1). В отсутствие футерованного канала или ограничения местоположением установки риформинга, местоположение DRC 30 является гибким. Он может находиться где-либо между компрессором 34 технологического газа и кольцевым трубопроводом 16 горячего дутья для газа к SF. Из-за расположения DRC 30 на возвышении, достаточно большом для сохранения длины гидравлического затвора с использованием U-образной конструкции затвора, подземный шлюзовой затвор не требуется. DRC 30 содержит шлюзовой затвор для выпуска воды и герметизации давления, обычно 1,5—2 бар и.д.

[0026] На фиг. 2 представлена технологическая схема с прямой рециркуляцией в случае, когда для нагрева материала в SF используется трубопровод 26 повторного нагрева. Трубопровод 26 повторного нагрева может ответвляться от кольцевого трубопровода 16 горячего дутья для газа в месте рядом с SF, что делает этот канал для трубопровода 26 повторного нагрева короче. Это снижает капиталовложения и уменьшает тепловые потери. Отверстие 22 с облицовкой из кирпичей ограничителя потока размещено в кольцевом трубопроводе 16 горячего дутья для газа между SF и ответвлением для поддержания скорости потока в трубопроводе 26 повторного нагрева, однако в нем не происходит такой же перепад давления, как в современном RGC 18. Газ 28 прямой рециркуляции, охлажденный DRC 30, может вводиться в газ 16 горячего дутья ниже по потоку относительно установки 14 риформинга и/или ниже по потоку относительно ответвления трубопровода повторного нагрева.

[0027] На фиг. 3 представлена технологическая схема с прямой рециркуляцией в случае, когда трубопровод 26 повторного нагрева (фиг. 1 и 2) для нагрева материала в SF не применяется. Соответственно, ограничитель 22 потока (фиг. 1 и 2) в кольцевом трубопроводе 16 горячего дутья для газа не установлен. Таким образом, экономится электроэнергия, потребляемая компрессором 34 технологического газа.

[0028] Снова ссылаясь на все фиг. 1—3, RGC 18 и ограничитель 22 потока, такой как отверстие с облицовкой из кирпичей, заменены трубопроводом 28 прямой рециркуляции с другим охладителем со слоем насадки, DRC 30. DRC 30 уменьшает температуру (обычно 180 °C) и влажность (обычно 15%) технологического газа 32, выпускаемого из компрессора 34 технологического газа. Охлажденный технологический газ 32 смешивается с горячим конвертированным газом 12 с целью снижения температуры и влажности газа 16 горячего дутья, поступающего в SF. Снижение влажности газа 16 горячего дутья важно для предотвращения повторного окисления материала в SF, которое может вызвать значительный простой установки и увеличить количество продукта с отклонениями от технических требований.

[0029] DRC 30 устанавливается на возвышении достаточно высоко для исключения потребности в подземной герметичной барометрической трубе со шлюзовым затвором, так как DRC 30 может быть спланирован гибко и независимо от SF и установки 18 риформинга за счет прокладки простого канала из углеродистой стали. Вместо нее используется U-образное барометрическое приспособление со шлюзовым затвором.

[0030] Подачу охлаждающей воды можно прекращать во время простоя DRC 30, или периода нормальной эксплуатации установки, поскольку DRC 30 не имеет проблемы перегрева благодаря более низкой температуре входящего газа. Это экономит электроэнергию, потребляемую насосом, и исключает биологическое загрязнение насадки бактериями.

[0031] Замена RGC 18, охлаждающего конвертированный газ 12 с температурой более 900 °C, DRC 30, охлаждающим технологический газ 32 с температурой 180 °C, исключает футерованный канал около RGC 18 и уменьшает размер охладителя со слоем насадки.

[0032] Что касается трубопровода 26 повторного нагрева, исключение RGC 18 позволяет отвести трубопровод 26 повторного нагрева от кольцевого трубопровода 16 горячего дутья для газа намного ближе к SF. Из-за меньшей длины футерованного канала уменьшаются капиталовложения. Это также уменьшает тепловые потери из трубопровода повторного нагрева для повышения температуры на выходе горячего DRI и экономии электроэнергии, потребляемой электродуговой печью. В случае установок для производства HBI таким образом можно уменьшить количество небрикетируемого продукта из-за низкой температуры на выходе.

[0033] В отсутствие трубопровода 26 повторного нагрева исключение RGC 18 и отверстия 22 с облицовкой из кирпичей в кольцевом трубопроводе 16 горячего дутья для газа уменьшает перепад давления для экономии электроэнергии, потребляемой компрессором 34 технологического газа во время периода нормальной эксплуатации. Альтернативно, таким образом, будет исключен механический регулируемый клапан 22 горячего газа в случае его установки вместо отверстия 22 с облицовкой из кирпичей.

[0034] Хотя настоящее изобретение проиллюстрировано и описано в данном документе со ссылкой на предпочтительные варианты осуществления и его конкретные примеры, специалистам в данной области будет очевидно, что другие варианты осуществления и примеры могут выполнять подобные функции и/или с их помощью можно достичь подобных результатов. Все такие эквивалентные варианты осуществления и примеры находятся в пределах сущности и объема настоящего изобретения, и тем самым предполагаются, и при этом могут быть во всех отношениях охвачены следующими не имеющими ограничительного характера пунктами формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система прямого восстановления для восстановления оксида металла до металла, содержащая:

трубопровод технологического газа, выполненный с возможностью доставки части технологического газа в установку риформинга, выполненную с возможностью риформинга технологического газа с образованием конвертированного газа;

кольцевой трубопровод горячего дутья для газа, выполненный с возможностью доставки конвертированного газа в шахтную печь в качестве газа горячего дутья, при этом шахтная печь выполнена с возможностью восстановления оксида металла до металла; и

трубопровод прямой рециркуляции, содержащий охладитель прямой рециркуляции и выполненный с возможностью избирательной доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа в обход установки риформинга и, таким образом, избирательного охлаждения и снижения влагосодержания газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь.

2. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что трубопровод технологического газа содержит компрессор технологического газа, выполненный с возможностью сжатия технологического газа перед доставкой технологического газа в охладитель прямой рециркуляции и/или установку риформинга.

3. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что трубопровод технологического газа содержит подогреватель технологического газа, выполненный с возможностью подогрева части технологического газа перед доставкой части технологического газа в установку риформинга.

4. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что трубопровод технологического газа содержит регулятор расхода, выполненный с возможностью избирательного разблокирования/блокирования потока части технологического газа в охладитель прямой рециркуляции.

5. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что трубопровод прямой рециркуляции содержит канал в сборе, расположенный на возвышении

достаточно высоко для сохранения длины гидравлического затвора с использованием U-образной конструкции затвора без подземного шлюзового затвора.

6. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что охладитель прямой рециркуляции содержит один или более из охладителя со слоем насадки и кожухотрубчатого теплообменника.

7. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что дополнительно содержит трубопровод повторного нагрева, выполненный с возможностью доставки части газа горячего дутья в шахтную печь в качестве газа повторного нагрева, при этом трубопровод повторного нагрева соединен с кольцевым трубопроводом горячего дутья для газа между трубопроводом прямой рециркуляции и шахтной печью.

8. Система прямого восстановления по п. 7, отличающаяся тем, что кольцевой трубопровод горячего дутья для газа содержит ограничитель потока, выполненный с возможностью избирательного направления части газа горячего дутья в трубопровод повторного нагрева.

9. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательного охлаждения газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 950—980 °С до 700—950 °С.

10. Система прямого восстановления по п. 1, отличающаяся тем, что трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательной осушки газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 5—15% H<sub>2</sub>O до 4—6% H<sub>2</sub>O.

11. Способ прямого восстановления для восстановления оксида металла до металла, включающий:

доставку через трубопровод технологического газа части технологического газа в установку риформинга, выполненную с возможностью риформинга технологического газа с образованием конвертированного газа;

доставку через кольцевой трубопровод горячего дутья для газа конвертированного газа в шахтную печь в качестве газа горячего дутья, при этом шахтная печь выполнена с возможностью восстановления оксида металла до металла; и

избирательную доставку через трубопровод прямой рециркуляции, содержащий охладитель прямой рециркуляции, части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа в обход установки риформинга с избирательным охлаждением и снижением влагосодержания тем самым газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь.

12. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что трубопровод технологического газа содержит компрессор технологического газа, выполненный с возможностью сжатия технологического газа перед доставкой технологического газа в охладитель прямой рециркуляции и/или установку риформинга.

13. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что трубопровод технологического газа содержит подогреватель технологического газа, выполненный с возможностью подогрева части технологического газа перед доставкой этой части технологического газа в установку риформинга.

14. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что трубопровод технологического газа содержит регулятор расхода, выполненный с возможностью избирательного разблокирования/блокирования потока части технологического газа в охладитель прямой рециркуляции.

15. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что трубопровод прямой рециркуляции содержит канал в сборе, расположенный на возвышении достаточно высоко для сохранения длины гидравлического затвора с использованием U-образной конструкции затвора без подземного шлюзового затвора.

16. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что охладитель прямой рециркуляции содержит один или более из охладителя со слоем насадки и кожухотрубчатого теплообменника.

17. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что дополнительно включает доставку через трубопровод повторного нагрева части газа горячего дутья в шахтную печь в качестве газа повторного нагрева, при этом трубопровод повторного

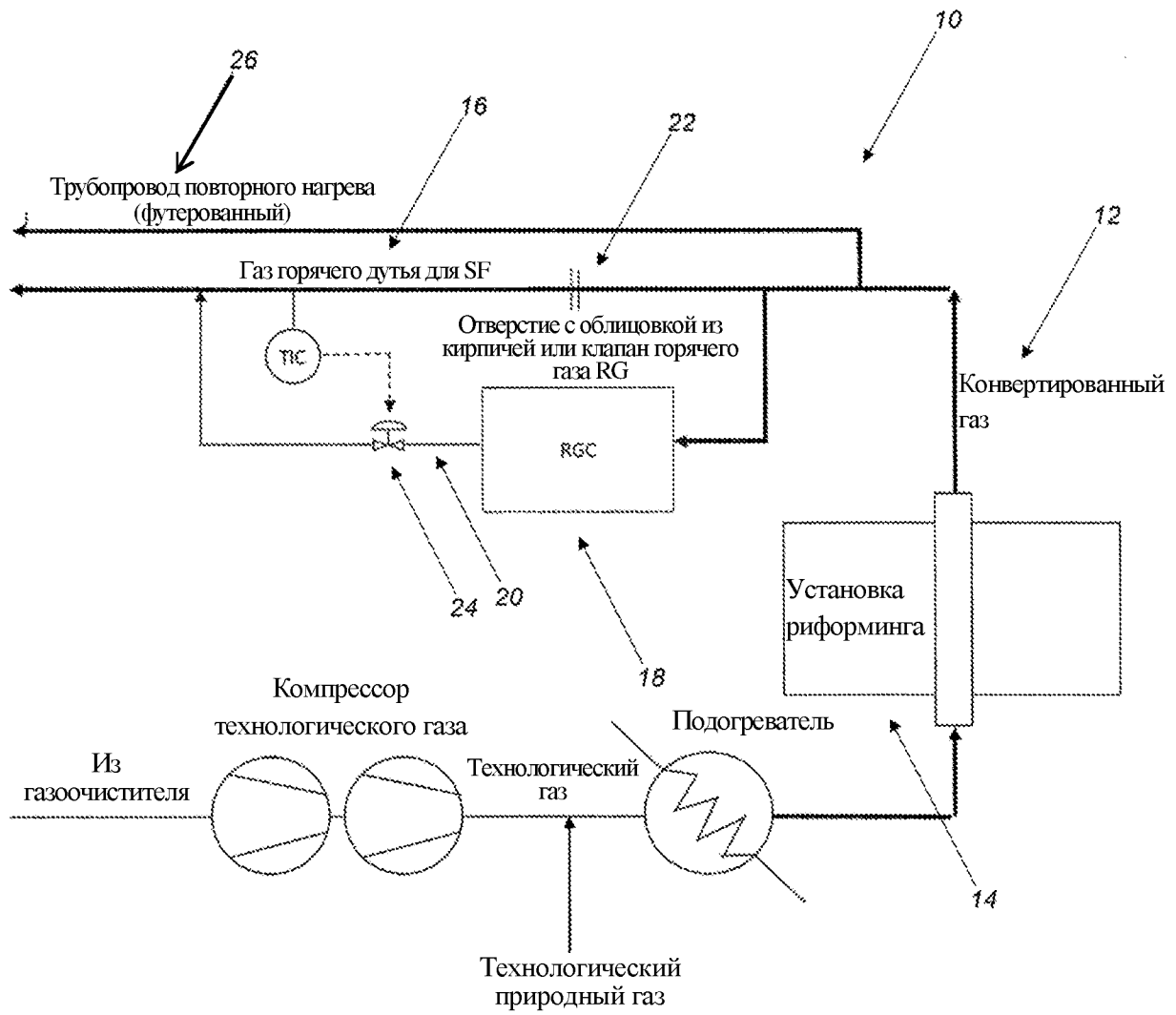
нагрева соединен с кольцевым трубопроводом горячего дутья для газа между трубопроводом прямой рециркуляции и шахтной печью.

18. Способ прямого восстановления по п. 17, отличающийся тем, что кольцевой трубопровод горячего дутья для газа содержит ограничитель потока, выполненный с возможностью избирательного направления части газа горячего дутья в трубопровод повторного нагрева.

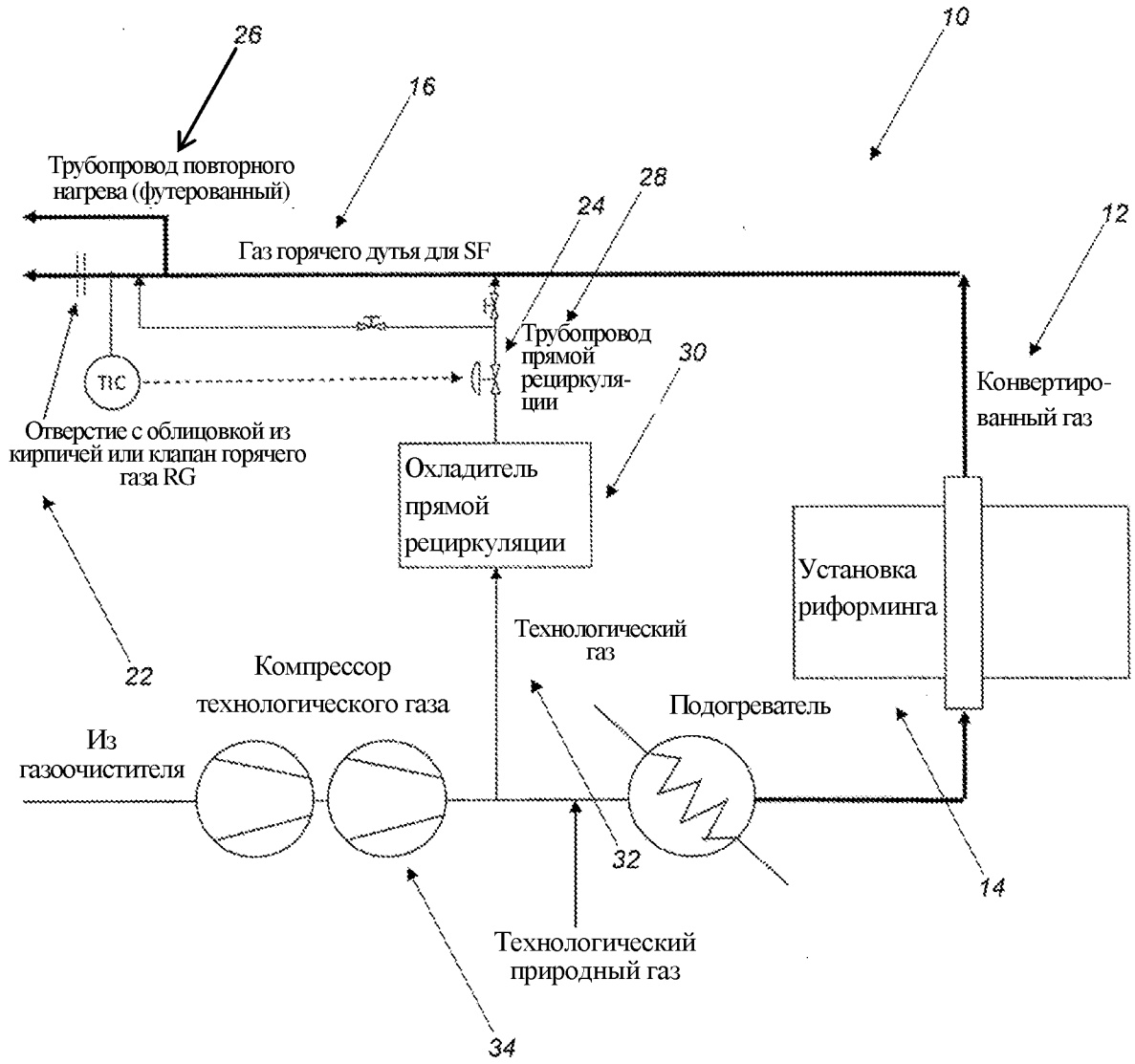
19. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательного охлаждения газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 950—980 °С до 700—950 °С.

20. Способ прямого восстановления по п. 11, отличающийся тем, что трубопровод прямой рециркуляции и охладитель прямой рециркуляции совместно выполнены с возможностью доставки части технологического газа в кольцевой трубопровод горячего дутья для газа и избирательной осушки газа горячего дутья, доставляемого в шахтную печь, с 5—15% H<sub>2</sub>O до 4—6% H<sub>2</sub>O.

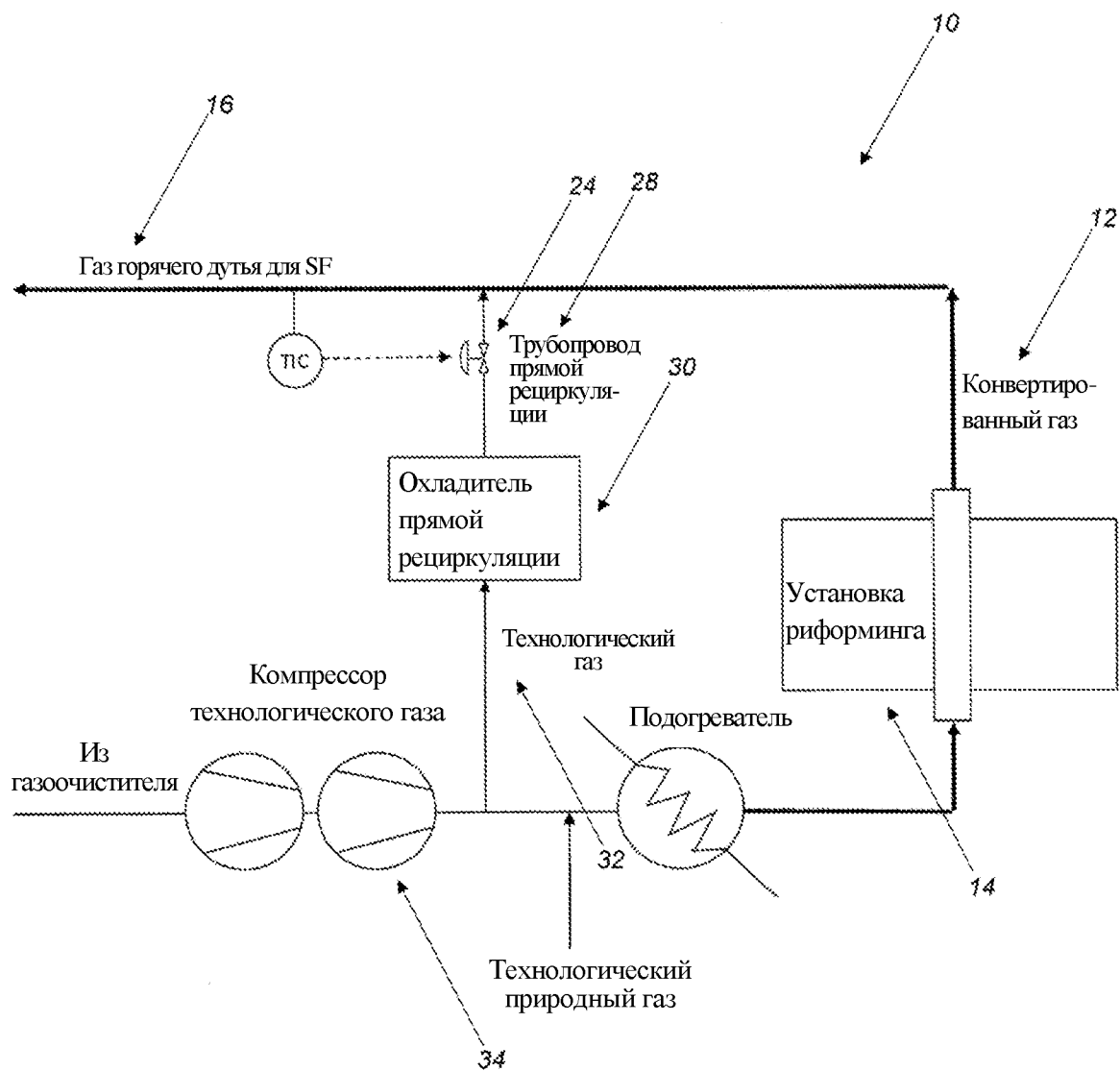




Фиг. 1  
(известный уровень техники)



Фиг. 2



Фиг. 3