

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202490224 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.04.26

(51) Int. Cl. C21B 13/02 (2006.01)  
C21B 13/12 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.08.10

(54) СПОСОБ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАННОГО ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА  
В СИСТЕМЕ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ, В КОТОРОЙ  
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВАТЕЛЬ ГАЗА

(31) 63/232,748; 17/884,070

(72) Изобретатель:

(32) 2021.08.13; 2022.08.09

Митисита Харуясу, Астория Тодд,  
Синтрон Энрике Жозе (US)

(33) US

(86) PCT/US2022/039939

(74) Представитель:

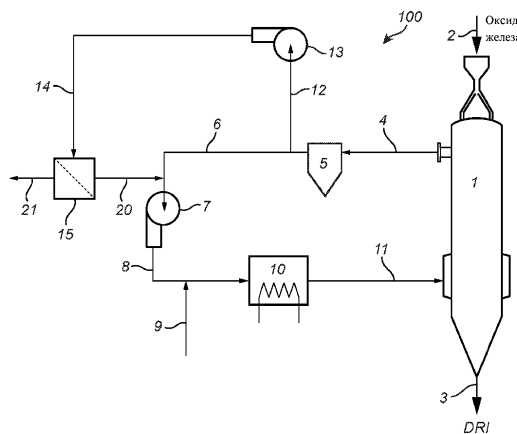
(87) WO 2023/018787 2023.02.16

Кузнецова С.А. (RU)

(71) Заявитель:

МИДРЭКС ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.  
(US)

(57) Способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа, такой как электрический нагреватель для нагревания восстановительного газа до температур, достаточных для восстановления железа, включает предоставление шахтной печи для восстановления оксида железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; удаление пара и частиц из колошникового газа шахтной печи с помощью скруббера; обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа, такой как установка с мембраной и установка для сепарации газа с помощью PSA, с целью создания богатого водородом потока, рециркулируемого обратно в шахтную печь в качестве восстановительного средства, чтобы мог быть уменьшен расход водорода, когда применяется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа.



202490224  
A1

202490224  
A1

P872129693EB

**СПОСОБ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАННОГО  
ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ ПРЯМОГО  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ, В КОТОРОЙ  
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВАТЕЛЬ ГАЗА**

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

[0001] Настоящая обычная заявка на патент испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 63/232748, поданной 13 августа 2021 г. и озаглавленной «СПОСОБ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАННОГО ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ, В КОТОРОЙ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВАТЕЛЬ ГАЗА», содержание которой в полном объеме включено в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение в целом относится к областям железа прямого восстановления (DRI) и производства стали. В частности, настоящее изобретение относится к способу и системе получения железа прямого восстановления (DRI), в которых восстановительный газ нагревают способами, отличными от сжигания.

ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] Железо прямого восстановления (DRI), часто называемое губчатым железом, обычно получают с помощью реакции железной руды с синтез-газом, который является газом, содержащим водород и монооксид углерода. В традиционных способах синтез-газ генерируют из природного газа либо путем его риформинга на месте внутри восстановительной печи, либо в отдельной установке каталитического риформинга. В этом случае DRI относится к любой

из обычных форм продукта, таких как холодное железо прямого восстановления (CDRI), горячее железо прямого восстановления (HDRI), горячее брикетированное железо (HBI) или любое другое DRI, которое получают путем восстановления железной руды на основе газа в шахтной печи.

[0004] В рамках глобальных усилий по борьбе с изменением климата в сталелитейной отрасли ведется поиск путей снижения или устранения выбросов CO<sub>2</sub>. При традиционном производстве железа наибольшая доля выбросов CO<sub>2</sub> возникает во время восстановления железной руды, где оксид железа восстанавливают до металлического железа за счет угля в случае доменной печи и природного газа в случае печи для прямого восстановления. Введение ископаемого топлива используется не только для обеспечения химии, необходимой для восстановления, но и для подачи энергии, необходимой для проведения реакции. В случае прямого восстановления водород, полученный из экологически безопасных источников, который называется экологически чистым водородом, может потенциально служить заменой природному газу, что значительно снижает выбросы во время фазы восстановления при производстве железа.

[0005] Несмотря на то, что для разработки и улучшения традиционных процессов, предназначенных для использования с экологически чистым водородом, прикладываются существенные усилия, остаются значительные трудности. Одной из основных проблем является большой расход водорода, который требуется для традиционных процессов. Поскольку традиционные технологии восстановления основаны на пламенных нагревателях для подачи энергии для восстановления, необходимо добавлять достаточное количество водорода не только для выполнения требований к реакции восстановления, но и для выполнения требований к нагреву в процессе посредством сжигания. Это может негативно отражаться на расходах, так как должна быть установлена дополнительная мощность для электролиза и необходимо использовать дополнительное электричество.

[0006] Соответственно, существует необходимость в улучшенных способах и системах получения железа прямого восстановления (DRI), в которых восстановительный газ нагревают способами, отличными от сжигания.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] Варианты осуществления настоящего изобретения улучшают известные способы и системы получения железа прямого восстановления (DRI). Например, было определено, что электрический нагреватель газа, использующий электричество, полученное от источника возобновляемой энергии, который также используется для получения экологически чистого водорода посредством электролиза, может быть типичным примером снижения выбросов CO<sub>2</sub>.

[0008] Таким образом, в данном случае было предпочтительно определено, что замена пламенного нагревателя восстановительного газа, используемого в традиционной технологии, на электрический вариант может уменьшить не только потребность в экологически чистом водороде, но и требуемое количество электричества в целом. Потребление электричества для электрического нагревателя восстановительного газа значительно меньше, чем количество электричества, необходимого для генерирования водорода, используемого пламенным нагревателем восстановительного газа, из-за меньшей тепловой эффективности пламенного нагревателя. Газообразный водород для адиабатического сжигания при нагреве восстановительного газа до температуры 800~1000 °C, обычно необходимой для восстановления оксида железа, обеспечивает только 40~50 % чистой свободной энергии, поскольку 50~60 % энергии уходит на дымовые газы горения. С другой стороны, эффективность электрического нагрева обычно выше 90 %, поскольку он характеризуется только механическими и электрическими потерями энергии.

[0009] Было также определено, что процессы в уровне техники не совместимы с электрическим нагревом. Например, в печи для прямого восстановления избыточный неконденсируемый инертный и окислительный газ должен быть удален из процесса для предотвращения скопления в основном контуре

технологического газа. В настоящее время это выполняется путем отвода части отработанного газа, называемого топливом из колошникового газа в способе MIDREX® (см. фиг. 1), для использования в качестве топлива для установки риформинга/нагревателя. В современном процессе прямого восстановления с применением установки риформинга с природным газом для компенсации расширения объема газа, вызванного реакцией риформинга, поток топлива из колошникового газа может составлять до 1/3 колошникового газа, что означает рециркуляцию 2/3 газа за проход. Однако на современной установке Midrex с природным газом количество генерируемого топлива из колошникового газа хорошо сбалансировано с требованием к топливному газу с установкой риформинга, и требуется лишь небольшая подпитка топливным газом.

[0011] В современном процессе прямого восстановления с использованием водорода в количестве, близком к 100 %, существует схожая ситуация при попытке получения DRI, содержащего углерод, что является желательным свойством для плавки ниже по потоку, за счет подачи углеродсодержащего газа, такого как природный газ. В этой ситуации обычно 10~20 % колошникового газа шахтной печи должно быть продано как топливо из колошникового газа в зависимости от целевого содержания углерода в DRI для удаления неконденсируемого окислителя, такого как CO<sub>2</sub>, без риформинга CO<sub>2</sub>, где CO<sub>2</sub> может быть преобразован в CO для повторного использования в восстановительной печи. Процесс восстановления с использованием водорода без установки риформинга будет генерировать проданное топливо из колошникового газа, содержащее много ценного экологически чистого водорода в остатке, а также CO и CO<sub>2</sub>, который должен быть использован пламенным нагревателем восстановительного газа с подпиткой топливным газом, например водородом, или с подпиткой природным газом. Следовательно, процессы восстановления с использованием водорода для получения DRI, содержащего углерод, в уровне техники нуждаются в использовании пламенного нагревателя восстановительного газа для использования топлива из колошникового газа и должны допускать более высокий расход топливного газа при получении DRI, содержащего углерод.

[0012] Существуют способы и системы удаления  $\text{CO}_2$  из колошникового газа, но они также имеют ограниченный эффект при использовании водорода как основного газа для восстановления. Малое количество  $\text{CO}_2$  в колошниковом газе шахтной печи ограничивает рабочую эффективность традиционных технологий сепарации газов, например работу скрубберов для аминоочистки и установок для адсорбции при переменном давлении. Низкая концентрация  $\text{CO}_2$  в газовом потоке может приводить к работе относительно больших установок для захвата  $\text{CO}_2$  с меньшей эффективностью или к большему попаданию водорода в сбрасываемый газ для этого применения. Примеры в данной области также демонстрируют высокую интегрированность с пламенными нагревателями, поскольку здесь они также используются для обращения со сбрасываемыми газами и использования оставшейся теплотворной способности в процессе.

[0013] В случае восстановления с использованием стопроцентного количества водорода для получения безуглеродного DRI без подачи углеродсодержащего газа продутая часть колошникового газа шахтной печи является не такой большой, как в предыдущем случае. Неконденсируемый инертный газ, такой как азот, однако, должен быть удален, чтобы не допускать скопления в контуре технологического газа в виде топлива из колошникового газа, основная фракция которого представляет собой водород. Продутое топливо из колошникового газа следует использовать в пламенном нагревателе восстановительного газа, если не существует других подходящих потребителей, или просто сбрасывать через факельную систему, что увеличивает количество расхода  $\text{H}_2$ , как в предыдущем случае.

[0014] Таким образом, в вариантах осуществления настоящего изобретения в настоящем изобретении предоставлены способ и система получения DRI с использованием водорода, в которых используется механизм, работающий без пламени, например с электрическим нагревом, с одновременным значительным повышением эффективности использования энергии по сравнению с имеющимися современными технологиями пламенного нагрева.

[0015] В различных вариантах осуществления в настоящем изобретении предоставлены новые способы и системы рециркуляции отработанного колошникового газа из восстановительной шахтной печи и управления скоплением неконденсируемого инертного и окислительного газа в основном рециркуляционном контуре. Предпочтительно расход водорода для восстановления оксида железа снижается по сравнению с существующими технологиями, что повышает эффективность процесса.

[0016] В иллюстративном варианте осуществления способ рециркуляции отработанного восстановительного газа в системе прямого восстановления железной руды, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа, такой как электрический нагреватель газа, для нагревания восстановительного газа до температур, достаточных для восстановления железа, включает:

- a. предоставление шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;
- b. удаление пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи;
- c. обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа для создания богатого водородом потока с уменьшенной фракцией неводородных соединений в нем и богатого инертным/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и другие соединения; и
- d. рециркуляцию богатого водородом потока после сепарации газа и оставшейся части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, со свежим водородом для создания богатого водородом восстановительного газа для данного способа.

[0017] В некоторых вариантах осуществления при получении DRI, содержащего углерод, с подачей газа, осаждающего углерод, в переходную зону шахтной печи, газ, добавляемый в переходную зону, образуют путем смешивания части богатого инертным/окислительным компонентом потока, генерируемого при сепарации газа, с внешним газом, осаждающим углерод.

[0018] В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает выборочное удаление всего CO<sub>2</sub> или его части из богатого инертным/окислительным компонентом потока перед смешиванием для образования газа переходной зоны.

[0019] В некоторых вариантах осуществления способ включает обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении (PSA) с образованием двух (2) потоков газа, а именно богатого водородом/азотом потока и богатого метаном/окислительным компонентом потока,

выборочное извлечение богатого водородом потока из богатого водородом/азотом потока с помощью установки с мембраной для сепарации газа перед рециркуляцией богатого водородом потока обратно в основной контур технологического газа и/или выборочное извлечение метана из богатого метаном/окислительным компонентом потока с помощью установки с мембраной для сепарации газа перед направлением в переходную зону после смешивания с внешним газом, осаждающим углерод.

[0020] В другом иллюстративном варианте осуществления в настоящем изобретении предоставлен способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа. Способ включает предоставление восстановительной шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления



оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; предоставление потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, на скруббер для удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку; обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа для создания богатого водородом потока с уменьшенной фракцией неводородных соединений в нем и богатого инертным/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; и рециркуляцию богатого водородом потока из установки для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с подпиткой водородом или обеспечением исходного материала из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ нагревают в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до  $800\sim 1100$  °C. Способ может включать введение части богатого инертным/окислительным компонентом потока, удаленного из установки для сепарации газа, в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды. Способ может включать предоставление устройства для отделения  $\text{CO}_2$ ; обработку всего богатого инертным/окислительным компонентом потока, удаленного из установки для сепарации газа, или его части с помощью устройства для отделения  $\text{CO}_2$  для извлечения очищенного  $\text{CO}_2$ ; и введение части обедненного  $\text{CO}_2$  газа, выпущенного из устройства для отделения  $\text{CO}_2$ , в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды. Установка для сепарации газа может представлять собой мембранный сепаратор газа, установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном

давлении или криогенную установку для сепарации газа. Устройство для отделения  $\text{CO}_2$  может представлять собой аминовый абсорбер/устройство для отделения или установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении. Работающий без пламени нагреватель восстановительного газа может представлять собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

[0021] В другом иллюстративном варианте осуществления способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, включает предоставление восстановительной шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; предоставление потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, на скруббер для удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку; обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; дополнительную обработку сухого богатого водородом/азотом потока в установке с мембраной для сепарации газа для извлечения богатого водородом потока; и рециркуляцию богатого водородом потока из установки с мембраной для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь созданный богатый водородом

восстановительный газ нагревают в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до 800~1100 °С. Работающий без пламени нагреватель восстановительного газа может представлять собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

[0022] В дополнительном иллюстративном варианте осуществления способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, включает: предоставление восстановительной шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; предоставление потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, на скруббер для удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку; обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; дополнительную обработку богатого метаном/окислительным компонентом потока в установке с мембраной для сепарации газа для создания богатого метаном потока; и введение богатого метаном потока из установки с мембраной для сепарации газа в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды. Способ может включать рециркуляцию богатого водородом потока из установки для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом

потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ нагревают в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до 800~1100 °С. Работающий без пламени нагреватель восстановительного газа может представлять собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

[0023] В другом иллюстративном варианте осуществления система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом газа, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, содержит: восстановительную шахтную печь предприятия по прямому восстановлению, выполненную с возможностью восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; скруббер, выполненный с возможностью приема потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, и удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку; установку для сепарации газа, выполненную с возможностью обработки всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части для создания богатого водородом потока с уменьшенной фракцией неводородных соединений в нем и богатого инертным/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; и рециркуляционную линию, выполненную с возможностью рециркуляции богатого водородом потока из установки для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ выполнен с возможностью нагревания в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания

богатого водородом восстановительного газа до 800~1100 °С. Система может содержать компрессор, выполненный с возможностью сжатия колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку. Система может содержать еще одну рециркуляционную линию, выполненную с возможностью введения части богатого инертным/окислительным компонентом потока, удаленного из установки для сепарации газа, в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды. Система может содержать устройство для отделения CO<sub>2</sub>, выполненное с возможностью извлечения очищенного CO<sub>2</sub> из богатого инертным/окислительным компонентом потока, выпущенного из установки для сепарации газа, для колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку. Установка для сепарации газа может представлять собой мембранный сепаратор газа, установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении или криогенную установку для сепарации газа. Устройство для отделения CO<sub>2</sub> может представлять собой аминовый абсорбер или установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении. Работающий без пламени нагреватель восстановительного газа может представлять собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

[0024] В дополнительном иллюстративном варианте осуществления система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, содержит: восстановительную шахтную печь предприятия по прямому восстановлению, выполненную с возможностью восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; скруббер, выполненный с возможностью приема потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, и удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную

очистку; установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении, выполненную с возможностью обработки всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; вторичную установку с мембраной для сепарации газа, выполненную с возможностью обработки сухого богатого водородом/азотом потока и создания богатого водородом потока; и рециркуляционную линию, выполненную с возможностью рециркуляции богатого водородом потока из вторичной установки с мембраной для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ выполнен с возможностью нагревания в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до  $800\sim 1100$  °C. Система может дополнительно содержать компрессор, выполненный с возможностью сжатия колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку. Работающий без пламени нагреватель газа может представлять собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

[0025] В другом иллюстративном варианте осуществления система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, содержит: восстановительную шахтную печь предприятия по прямому восстановлению, выполненную с возможностью восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; скруббер, выполненный с возможностью приема потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный

восстановительный газ, и удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошниковога газа шахтной печи и получения колошниковога газа, прошедшего скрубберную очистку; установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении, выполненную с возможностью обработки всего колошниковога газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; вторичную установку с мембраной для сепарации газа, выполненную с возможностью обработки богатого метаном/окислительным компонентом потока для создания богатого метаном потока; и линию введения, выполненную с возможностью введения богатого метаном потока из установки с мембраной для сепарации газа в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды. Работающий без пламени нагреватель восстановительного газа может представлять собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0026] Настоящее изобретение проиллюстрировано и описано со ссылкой на различные графические материалы, на которых:

[0027] на фиг. 1 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее вышеупомянутый способ MIDREX®;

[0028] на фиг. 2 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее один иллюстративный вариант осуществления способа и системы по настоящему изобретению для рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошниковога газа сжимают и отправляют в установку с мембраной для сепарации, в которой водород извлекают обратно в основной

технологический контур, и поток удаленного неконденсируемого инертного и окислительного газа направляют, например, в факельную систему для сброса;

[0029] на фиг. 3 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее другой иллюстративный вариант осуществления способа и системы по настоящему изобретению для рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа сжимают и отправляют в установку с мембраной для сепарации, в которой водород извлекают обратно в основной технологический контур, и удаленный неконденсируемый инертный газ и часть потока окислительного газа смешивают с газом, содержащим углеводороды, для введения в переходную зону восстановительной шахтной печи;

[0030] на фиг. 4 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее другой иллюстративный вариант осуществления способа и системы по настоящему изобретению для рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа сжимают и отправляют в установку для многоступенчатой сепарации, включающей PSA, и скруббер для аминоочистки, в котором водород извлекают обратно в основной технологический контур, в скруббере для аминоочистки извлекают диоксид углерода высокой чистоты (например, по меньшей мере 95 %), и оставшуюся часть обедненного CO<sub>2</sub> потока смешивают с газом, содержащим углеводороды, для введения в переходную зону восстановительной шахтной печи; и

[0031] на фиг. 5 представлено схематическое изображение, иллюстрирующее другой иллюстративный вариант осуществления способа и системы по настоящему изобретению для рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа сжимают и отправляют в установку для многоступенчатой сепарации, включающую установку с мембраной для сепарации и установку для сепарации с помощью PSA. Богатый водородом/азотом газ, извлеченный установкой с помощью PSA, дополнительно обрабатывают с помощью установки с мембраной для удаления азота, в которой водород рециркулируют в основной технологический контур и азот направляют,



например, в факельную систему для сброса. Богатый метаном/окислительным компонентом поток, удаленный с помощью PSA, дополнительно обрабатывают с помощью установки с мембраной для извлечения метана, в которой богатый метаном поток вводят в переходную зону с подпиткой газом, содержащим углеводороды, и оставшийся поток газа установки с мембраной направляют в факельную систему для сброса.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0032] Также в различных иллюстративных вариантах осуществления в настоящем изобретении предпочтительно предоставлены способ и система получения DRI с использованием водорода, где используется электрическое нагревание, с одновременным значительным повышением эффективности использования энергии по сравнению с существующими современными технологиями. Кроме того, в различных вариантах осуществления изобретения предоставлены новые способы и системы для рециркуляции отработанного колошникового газа из восстановительной шахтной печи и управления скоплением неконденсируемого инертного и окислительного газа в основном рециркуляционном контуре, при этом скопление инертного газа главным образом вызвано азотом в уплотнительном газе, используемом в системе загрузки/выгрузки материала в шахтной печи, и скопление неконденсируемого окислительного газа главным образом вызвано  $\text{CO}_2$ , особенно в случае, когда углеродсодержащий газ подают для получения DRI, содержащего углерод. Предпочтительно расход водорода для восстановления оксида железа снижен по сравнению с существующими технологиями, что позволяет управлять скоплением неконденсируемого инертного и окислительного газа и повышать эффективность способа.

[0033] В частности, как показано на фиг. 1, система/способ 90 демонстрируют современный процесс прямого восстановления с использованием природного газа. Оксид 2 железа загружают из верхней части шахтной печи 1 и восстанавливают до DRI 3, которое выгружают из нижней части шахтной печи 1,

при этом горячий восстановительный газ 11, полученный с помощью установки риформинга MIDREX, подают в кольцевой трубопровод шахтной печи 1. Колошниковый газ 4 шахтной печи, содержащий много продуктов восстановления, таких как  $H_2O$  и  $CO_2$ , обрабатывают с помощью скруббера 5 колошникового газа, при этом колошниковый газ охлаждают для уменьшения содержания  $H_2O$ , и частицы удаляют из колошникового газа. Часть колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, необходимо продувать и использовать в качестве топлива для установки риформинга/нагревателя, которое называется топливом из колошникового газа в способе MIDREX, для удаления избыточного неконденсируемого инертного и окислительного газа, такого как азот и  $CO_2$ , остающихся в рециркулируемом газе. В традиционном способе MIDREX с эффективной установкой риформинга, которая преобразует  $CO_2$  в  $CO$  для повторного использования в восстановительной печи, для компенсации расширения объема газа, вызванного реакцией риформинга, соотношение продутого газа после скруббера может составлять до  $1/3$  колошникового газа, что означает, что только  $2/3$  газа может быть рециркулировано за проход.

[0034] В частности, как показано на фиг. 2, для получения DRI с использованием водорода изображенные на ней система/способ 100 выполнены с возможностью рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, продувают, сжимают и отправляют в установку с мембраной для сепарации, в которой водород извлекают обратно в основной контур технологического газа, и поток удаленного неконденсируемого инертного и окислительного газа направляют, например, в факельную систему.

[0035] В одном иллюстративном варианте осуществления колошниковый газ 4 шахтной печи, содержащий много продуктов восстановления, как в способе MIDREX по фиг. 2, таких как  $H_2O$  и  $CO_2$ , обрабатывают с помощью скруббера 5, где газ охлаждают для уменьшения содержания  $H_2O$  и частицы удаляют из колошникового газа. Для удаления избыточного неконденсируемого инертного и окислительного газа, такого как  $CO_2$ , и управления скоплением в основном

контуре технологического газа продувают часть колошникового газа 12, прошедшего скрубберную очистку, где обычно 10~20 % колошникового газа шахтной печи должно быть продуту в зависимости от целевого содержания углерода в DRI. Продутый колошниковый газ сжимают с помощью компрессора 13 и отправляют в установку 15 с мембраной для сепарации газа посредством потока 14. В установке 15 для сепарации газа образуются два потока газа, а именно богатый водородом поток 20 и богатый инертным/окислительным компонентом поток 21. Богатый водородом поток 20, который обычно содержит более 90 % водорода, извлекают обратно в основной технологический контур и смешивают с оставшимся отходящим газом 6 скруббера. Эти газовые смеси сжимают с помощью компрессоров 7 технологического газа с последующей подпиткой потоком 9 свежего водорода для повторного получения восстановительного газа 11. Восстановительный газ 11 нагревают в электрическом нагревателе 10 или другом подходящем работающем без пламени устройстве нагревания до температуры обычно 800~1000 °С, необходимой для восстановления оксида железа в шахтной печи 1. Эта точка смешения богатого водородом потока 20 с отходящим газом 6 скруббера может происходить либо до, либо после компрессоров 7 технологического газа в зависимости от выравнивания давлений. Богатый инертным/окислительным компонентом поток 21, который является сухим газом, обычно содержащим более 70 % неводородных соединений, либо используется другими потребителями на площадке, либо сжигается с помощью традиционных средств, таких как факел или термический окислитель.

[0036] В случае восстановления с использованием стопроцентного количества водорода для получения безуглеродного DRI без подачи углеродсодержащего газа количество богатого инертным/окислительным компонентом потока 21 меньше, чем при получении DRI, содержащего углерод, хотя количество зависит от содержания азота, оставшегося в восстановительном газе 11. Богатый водородом поток 20 обычно содержит более 90 % водорода, и богатый инертным/окислительным компонентом поток 21 обычно содержит азот и некоторое количество пропущенного H<sub>2</sub>. Следовательно, система/способ 100 по

фиг. 2 с большой вероятностью могут быть применены для уменьшения расхода водорода.

[0037] В частности, как показано на фиг. 3, изображенные на ней система/способ 110 выполнены с возможностью рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, продувают, сжимают и отправляют в установку с мембраной для сепарации, в которой водород извлекают обратно в основной контур технологического газа. Часть потока удаленного неконденсируемого инертного и окислительного газа смешивают с газом, содержащим углеводороды, перед введением в переходную зону шахтной печи. Такая конфигурация является предпочтительной для способа восстановления с использованием водорода при получении DRI, содержащего углерод, путем подачи углеродсодержащего газа, такого как природный газ, в переходную зону восстановительной шахтной печи.

[0038] В одном иллюстративном варианте осуществления, показанном на фиг. 3, аналогично фиг. 2, продутый колошниковый газ 12, прошедший скрубберную очистку, сжимают с помощью компрессора 13 и отправляют в установку 15 с мембраной для сепарации газа посредством потока 14. В установке 15 для сепарации газа образуются два потока газа, а именно богатый водородом поток 20 и богатый инертным/окислительным компонентом поток 16 (см. 21 по фиг. 2). Богатый водородом поток 20 обычно содержит более 90 % водорода. Богатый инертным/окислительным компонентом поток 16 является сухим газом, обычно содержащим более 70 % неводородных соединений, включая метан и CO, обладающих способностью к науглероживанию DRI. Отличие от фиг. 2 заключается в том, что здесь богатый инертным/окислительным компонентом поток направляется в переходную зону шахтной печи, как показано на фиг. 3, для повторного использования в качестве науглероживающего газа вместо отправки другим потребителям или сжигания в факеле или термическом окислителе, как на фиг. 2. Для предотвращения скопления инертного и окислительного газа, такого как N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, в контуре технологического газа часть

богатого инертным/окислительным компонентом потока 16 может быть продута, как показано, в потоке 22, который направляется для внешнего использования или может быть сожжен с помощью традиционных средств, таких как факел или термический окислитель. Оставшуюся часть богатого инертным/окислительным компонентом потока 16 направляют в переходную зону в потоке 19 науглероживающего газа после добавления газа 17, обеспечивающего наличие углерода, такого как природный газ, в газовом смесителе 18.

[0039] Разные газы при необходимости могут подаваться для образования смеси для переходной зоны в газовом смесителе 18. Основным фактором при выборе состава газа заключается в его способности к осаждению углерода на железе при температурах выше 650 °C. Подходящие газы включают газы с уровнями метана и более тяжелых углеводородов от средних до высоких. Также можно использовать газы с низкими уровнями метана, но за счет возможной потери определенного уровня углерода в продукте DRI.

[0040] Необходимое количество богатого инертным/окислительным компонентом газа, продуваемого в потоке 21 по фиг. 2 или в потоке 22 по фиг. 3, определяется скоплением инертного и окислительного газа в контуре технологического газа. В случае восстановления с использованием стопроцентного количества водорода для получения безуглеродного DRI без подачи углеродсодержащего газа количество потока 21 на фиг. 2 будет с большой вероятностью регулироваться за счет содержания азота в потоке 11 восстановительного газа. В случае получения DRI, содержащего углерод, количество потока 21 на фиг. 2 будет с большой вероятностью регулироваться за счет содержания CO<sub>2</sub> в потоке 11 восстановительного газа, и количество потока 22 на фиг. 3 будет с большой вероятностью регулироваться за счет содержания CO<sub>2</sub> в потоке 19 науглероживающего газа, а также за счет содержания CO<sub>2</sub> в потоке 11 восстановительного газа. Количество продувки газа может быть уменьшено, и расход водорода может быть дополнительно улучшен путем дополнительного удаления инертного и окислительного компонента из богатого

инертным/окислительным компонентом потока 16 перед направлением в переходную зону шахтной печи, как также упоминается ниже.

[0041] В частности, как показано на фиг. 4, изображенные на ней система/способ 120 выполнены с возможностью рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, сжимают и отправляют на адсорбцию при переменном давлении (PSA) и в скруббер для аминоочистки, в котором водород извлекают обратно в основной технологический контур, диоксид углерода высокой чистоты извлекают в скруббере для аминоочистки, и часть оставшегося потока обедненного CO<sub>2</sub> газа смешивают с газом, содержащим углеводороды, перед введением в переходную зону восстановительной шахтной печи.

[0042] В одном иллюстративном варианте осуществления продукты колошниковый газ 12, прошедший скрубберную очистку, сжимают с помощью компрессора 13 и отправляют в установку 23 с помощью адсорбции при переменном давлении (PSA) посредством потока 14. Образуются два потока газа (аналогично фиг. 2 и фиг. 3), а именно богатый водородом поток 20 и богатый инертным/окислительным компонентом поток 24 (21 по фиг. 2). Богатый водородом поток 20 является сухим газом, обычно содержащим более 90 % водорода, который извлекают обратно в основной технологический контур и смешивают с оставшимся отходящим газом 6 скруббера. Эти газовые смеси сжимают с помощью компрессора 7 технологического газа с последующей подпиткой потоком 9 свежего водорода для повторного получения восстановительного газа 11. Восстановительный газ 11 нагревают в электрическом нагревателе 10 или другом подходящем устройстве электрического нагревания до необходимой температуры обычно 800~1000 °C для восстановления оксида железа в шахтной печи 1. Эта точка смешения богатого водородом потока 20 с оставшимся отходящим газом 6 скруббера может происходить либо до, либо после компрессора 7 технологического газа в зависимости от выравнивания давлений.

[0043] Весь богатый инертным/окислительным компонентом поток 24, обычно содержащий более 70 % неводородных соединений, таких как  $N_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $H_2O$  и метан, или его часть сжимают с помощью компрессора 24' и направляют в аминовый абсорбер/устройство 25 для отделения для дальнейшей обработки. Поток 26  $CO_2$  высокой чистоты, обычно содержащий более 99 %  $CO_2$  в пересчете на сухое вещество, извлекают для внешнего использования. Некоторые примеры потенциальных вариантов использования включают использование  $CO_2$  в другом способе или секвестрацию при долгосрочном хранении. Для управления скоплением  $N_2$  и  $CO_2$  в основном контуре технологического газа часть оставшегося обедненного  $CO_2$  газа 16' из аминowego абсорбера/устройства 25 для отделения продувают в потоке 22. После этого оставшуюся часть обедненного  $CO_2$  газа 16' направляют в переходную зону восстановительной шахтной печи 1 в потоке 19 после добавления газа 17, обеспечивающего наличие углерода, такого как природный газ, в газовом смесителе 18. Продутый поток 22 находится либо выше по потоку, либо ниже по потоку относительно аминowego абсорбера/устройства 25 для отделения для поддержания уровней  $N_2$  и  $CO_2$  в основном контуре газа и направляется для внешнего использования или может быть сожжен с помощью традиционных средств, таких как факел или термический окислитель.

[0044] В частности, как показано на фиг. 5, изображенные на ней система/способ 130 выполнены с возможностью рециркуляции отработанного восстановительного газа, где часть колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, сжимают и отправляют в установку с помощью адсорбции при переменном давлении (PSA) посредством потока 14, а затем в несколько установок с мембраной для сепарации газа для извлечения водорода и богатого метаном газа после удаления  $N_2$  и  $CO_2$ . Водород извлекают обратно в основной контур технологического газа. Богатый метаном газ направляют в газовый смеситель 18 и подпитывают дополнительным газом 17, содержащим углеводороды, перед введением в переходную зону восстановительной шахтной печи 1 посредством потока 19.

[0045] В одном иллюстративном варианте осуществления, как также показано на фиг. 5, продутый колошниковый газ 12, прошедший скрубберную очистку, сжимают с помощью компрессора 13 и отправляют в установку 23 с помощью адсорбции при переменном давлении (PSA), где образуются два потока газа, а именно богатый водородом/азотом поток 20' и богатый метаном/окислительным компонентом поток 24. Богатый водородом/азотом поток 20' является сухим газом, обычно содержащим более 90 % водорода/азота, который отправляют в установку 27 с мембраной для сепарации газа с целью сепарации богатого водородом газа 29 и богатого азотом газа 28. Богатый водородом газ 29 извлекают обратно в основной технологический контур и смешивают с оставшимся отходящим газом 6 скруббера. Богатый азотом газ 28 отправляют, например, в факел для сброса. Богатый метаном/окислительным компонентом поток 24, обычно содержащий более 70 % неводородных соединений, таких как CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и метан, сжимают с помощью компрессора 24' для его отправки в другую установку 30 с мембраной для сепарации газа с целью сепарации богатого метаном потока 16'' и потока 31 оставшегося окислительного газа. Богатый метаном поток 16'' направляют в газовый смеситель 18 и подпитывают дополнительным газом 17, содержащим углеводороды, перед введением в переходную зону посредством потока 19 для получения DRI, содержащего углерод. Поток 31 оставшегося окислительного газа отправляют, например, в факел для сброса.

[0046] Система/способ 130, показанные на фиг. 5, включают несколько установок для сепарации газа для предпочтительной минимизации количества сбрасываемого газа для управления скоплением CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> и максимизации степени извлечения водорода и метана. Богатый метаном поток 16'' по фиг. 5 из установки 30 с мембраной для сепарации газа представляет собой сухой газ, содержащий в основном метан с минимальным CO<sub>2</sub> и подходящий для науглероживания DRI в шахтной печи. Также повторное использование извлеченного метана для введения в переходную зону будет эффективно уменьшать выброс CO<sub>2</sub> по сравнению с современной технологией.



[0047] Таким образом, согласно предпочтительным вариантам осуществления раскрыты способ/система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом газа, в которых используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа, такой как электрический нагреватель, для нагревания восстановительного газа до температур, достаточных для восстановления железа. Способ может включать предоставление шахтной печи для восстановления оксида железа с помощью богатого водородом восстановительного газа; удаление пара и частиц из колошникового газа шахтной печи с помощью скруббера; обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа, такой как установка с мембраной и установка для сепарации газа с помощью PSA, с целью создания богатого водородом потока, рециркулируемого обратно в шахтную печь в качестве восстановительного средства, чтобы мог быть уменьшен расход водорода, когда применяется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа и не потребляется продуваемый колошниковый газ шахтной печи для управления скоплением неконденсируемого инертного и окислительного газа в контуре технологического газа. Способ может быть дополнительно оптимизирован для увеличения рециркулируемого количества водорода, а также метана с помощью вторичных установок для сепарации газа, когда углеродсодержащий газ, такой как природный газ, подают на предприятие, работающее на водороде в количестве, близком к 100 %, и работающее для получения DRI, содержащего углерод.

[0048] Хотя настоящее изобретение проиллюстрировано и описано в данном документе со ссылкой на конкретные и предпочтительные варианты осуществления и его конкретные примеры, специалистам в данной области техники 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, тем самым предполагаются и предназначены для охвата нижеследующими

неограничивающими пунктами формулы изобретения. Более того, все признаки, элементы и варианты осуществления, описанные в данном документе, могут использоваться в любых комбинациях.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, включающий:

предоставление восстановительной шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;

предоставление потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, на скруббер для удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку;

обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа для создания богатого водородом потока с уменьшенной фракцией неводородных соединений в нем и богатого инертным/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; и

рециркуляцию богатого водородом потока из установки для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с подпиткой водородом из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ нагревают в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до  $800\sim 1100$  °C.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает:

введение части богатого инертным/окислительным компонентом потока, удаленного из установки для сепарации газа, в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает:

предоставление устройства для отделения  $\text{CO}_2$ ;

обработку всего богатого инертным/окислительным компонентом потока, удаленного из установки для сепарации газа, или его части с помощью устройства для отделения  $\text{CO}_2$  для извлечения очищенного  $\text{CO}_2$ ; и

введение части обедненного  $\text{CO}_2$  газа, выпущенного из устройства для отделения  $\text{CO}_2$ , в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка для сепарации газа представляет собой мембранный сепаратор газа.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка для сепарации газа представляет собой установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка для сепарации газа представляет собой криогенную установку для сепарации газа.

7. Способ по п. 3, отличающийся тем, что устройство для отделения  $\text{CO}_2$  представляет собой аминовый абсорбер/устройство для отделения или установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении.

8. Способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого

водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, включающий:

предоставление восстановительной шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;

предоставление потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, на скруббер для удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку;

обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ;

дополнительную обработку сухого богатого водородом/азотом потока в установке с мембраной для сепарации газа для извлечения богатого водородом потока; и

рециркуляцию богатого водородом потока из установки с мембраной для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь созданный богатый водородом восстановительный газ нагревают в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до 800~1100 °C.

9. Способ получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в котором используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, включающий:

предоставление восстановительной шахтной печи предприятия по прямому восстановлению для восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;

предоставление потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, на скруббер для удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку;

обработку всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части в установке для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ;

дополнительную обработку богатого метаном/окислительным компонентом потока в установке с мембраной для сепарации газа для создания богатого метаном потока; и

введение богатого метаном/окислительным компонентом потока из установки с мембраной для сепарации газа в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что включает рециркуляцию богатого водородом потока из установки для сепарации газа и по меньшей мере части

колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ нагревают в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до 800~1100 °С.

11. Способ по п. 1, отличающийся тем, что работающий без пламени нагреватель восстановительного газа представляет собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

12. Способ по п. 8, отличающийся тем, что работающий без пламени нагреватель восстановительного газа представляет собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

13. Способ по п. 9, отличающийся тем, что работающий без пламени нагреватель восстановительного газа представляет собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

14. Система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, содержащая:

восстановительную шахтную печь предприятия по прямому восстановлению, выполненную с возможностью восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;

скруббер, выполненный с возможностью приема потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, и удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового

газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку;

установку для сепарации газа, выполненную с возможностью обработки всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части для создания богатого водородом потока с уменьшенной фракцией неводородных соединений в нем и богатого инертным/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ; и

рециркуляционную линию, выполненную с возможностью рециркуляции богатого водородом потока из установки для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ выполнен с возможностью нагревания в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до  $800\sim 1100\text{ }^\circ\text{C}$ .

15. Система по п. 14, отличающаяся тем, что дополнительно содержит компрессор, выполненный с возможностью сжатия колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку.

16. Система по п. 14, отличающаяся тем, что дополнительно содержит еще одну рециркуляционную линию, выполненную с возможностью введения части богатого инертным/окислительным компонентом потока, удаленного из установки для сепарации газа, в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды.

17. Система по п. 14, отличающаяся тем, что дополнительно содержит устройство для отделения  $\text{CO}_2$ , выполненное с возможностью извлечения очищенного  $\text{CO}_2$  из богатого инертным/окислительным компонентом потока,



выпущенного из установки для сепарации газа, для колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку.

18. Система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, содержащая:

восстановительную шахтную печь предприятия по прямому восстановлению, выполненную с возможностью восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;

скруббер, выполненный с возможностью приема потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, и удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку;

установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении, выполненную с возможностью обработки всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ;

вторичную установку с мембраной для сепарации газа, выполненную с возможностью обработки сухого богатого водородом/азотом потока и создания богатого водородом потока; и

рециркуляционную линию, выполненную с возможностью рециркуляции богатого водородом потока из вторичной установки с мембраной для сепарации газа и по меньшей мере части колошникового газа, прошедшего скрубберную

очистку, с помощью водорода из другого богатого водородом потока для создания богатого водородом восстановительного газа, подаваемого в шахтную печь, при этом перед подачей в шахтную печь богатый водородом восстановительный газ выполнен с возможностью нагревания в работающем без пламени нагревателе восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до 800~1100 °С.

19. Система по п. 18, отличающаяся тем, что дополнительно содержит компрессор, выполненный с возможностью сжатия колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку.

20. Система получения железа прямого восстановления с помощью богатого водородом восстановительного газа, в которой используется работающий без пламени нагреватель восстановительного газа для нагревания богатого водородом восстановительного газа до температуры, достаточной для восстановления железа, содержащая:

восстановительную шахтную печь предприятия по прямому восстановлению, выполненную с возможностью восстановления оксида железа до металлического железа с помощью богатого водородом восстановительного газа;

скруббер, выполненный с возможностью приема потока колошникового газа восстановительной шахтной печи, содержащего отработанный восстановительный газ, и удаления пара и частиц из отработанного восстановительного газа с помощью скруббера для обработки колошникового газа шахтной печи и получения колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку;

установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении, выполненную с возможностью обработки всего колошникового газа, прошедшего скрубберную очистку, или его части для создания сухого богатого водородом/азотом потока с уменьшенной фракцией неводородных или

неазотных соединений в нем и богатого метаном/окислительным компонентом потока, содержащего  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ;

вторичную установку с мембраной для сепарации газа, выполненную с возможностью обработки богатого метаном/окислительным компонентом потока для создания богатого метаном потока; и

линию введения, выполненную с возможностью введения богатого метаном/окислительным компонентом потока из установки с мембраной для сепарации газа в переходную зону шахтной печи для науглероживания железа прямого восстановления после смешивания с газом, содержащим углеводороды.

21. Система по п. 14, отличающаяся тем, что установка для сепарации газа представляет собой мембранный сепаратор газа.

22. Система по п. 14, отличающаяся тем, что установка для сепарации газа представляет собой установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении.

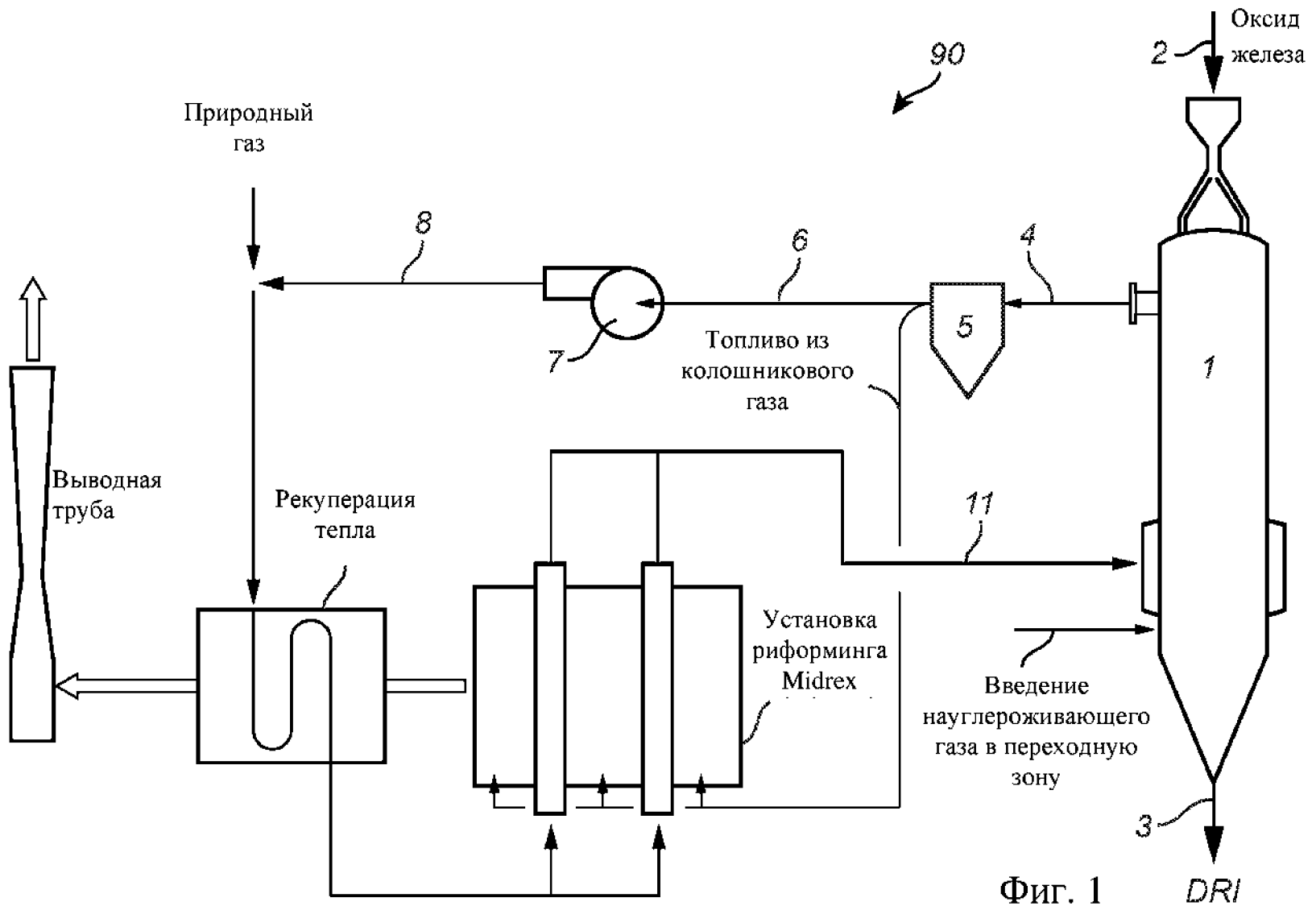
23. Система по п. 14, отличающаяся тем, что установка для сепарации газа представляет собой криогенную установку для сепарации газа.

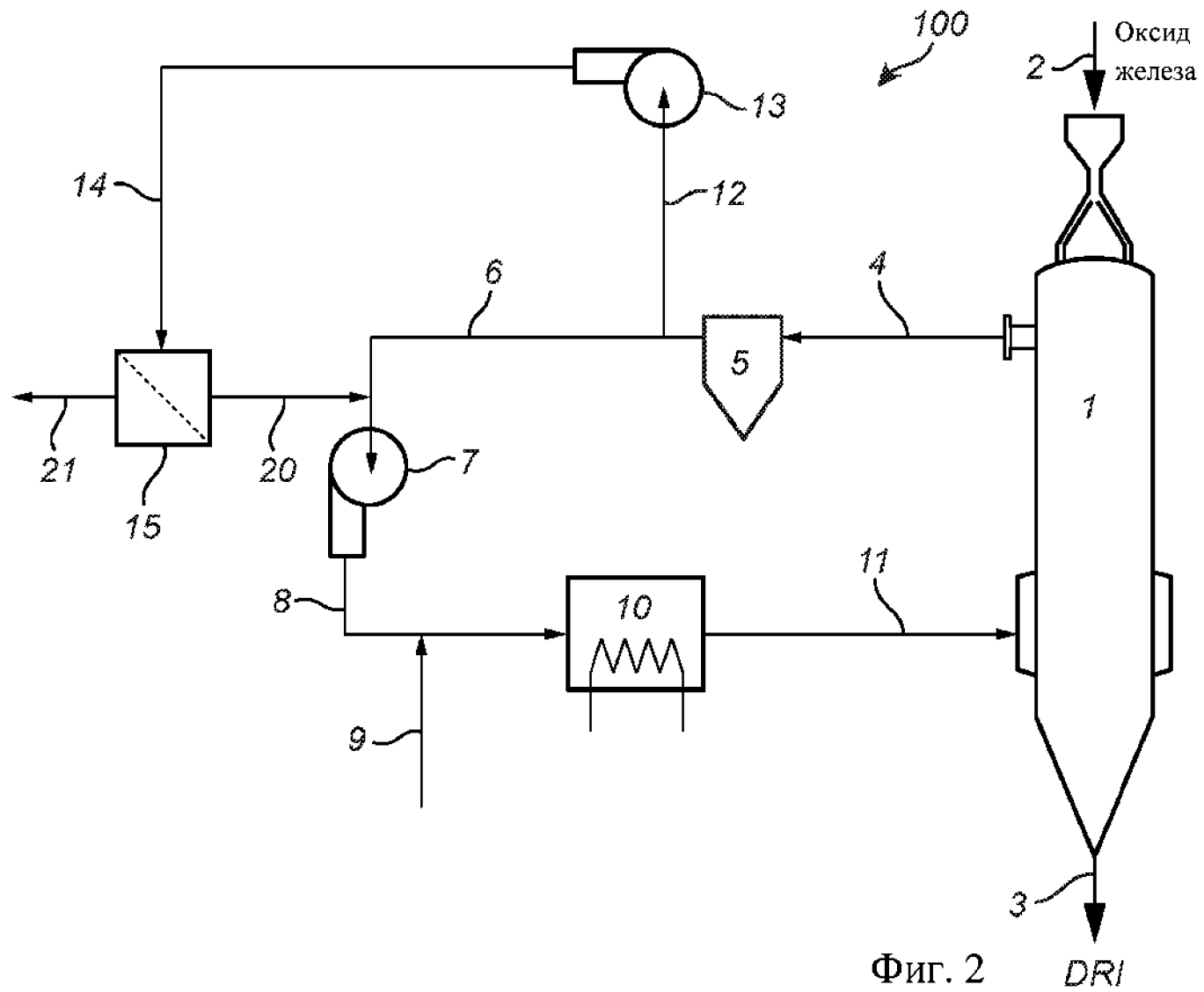
24. Система по п. 17, отличающаяся тем, что устройство для отделения  $\text{CO}_2$  представляет собой аминовый абсорбер или установку для сепарации газа с помощью адсорбции при переменном давлении.

25. Система по п. 14, отличающаяся тем, что работающий без пламени нагреватель восстановительного газа представляет собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

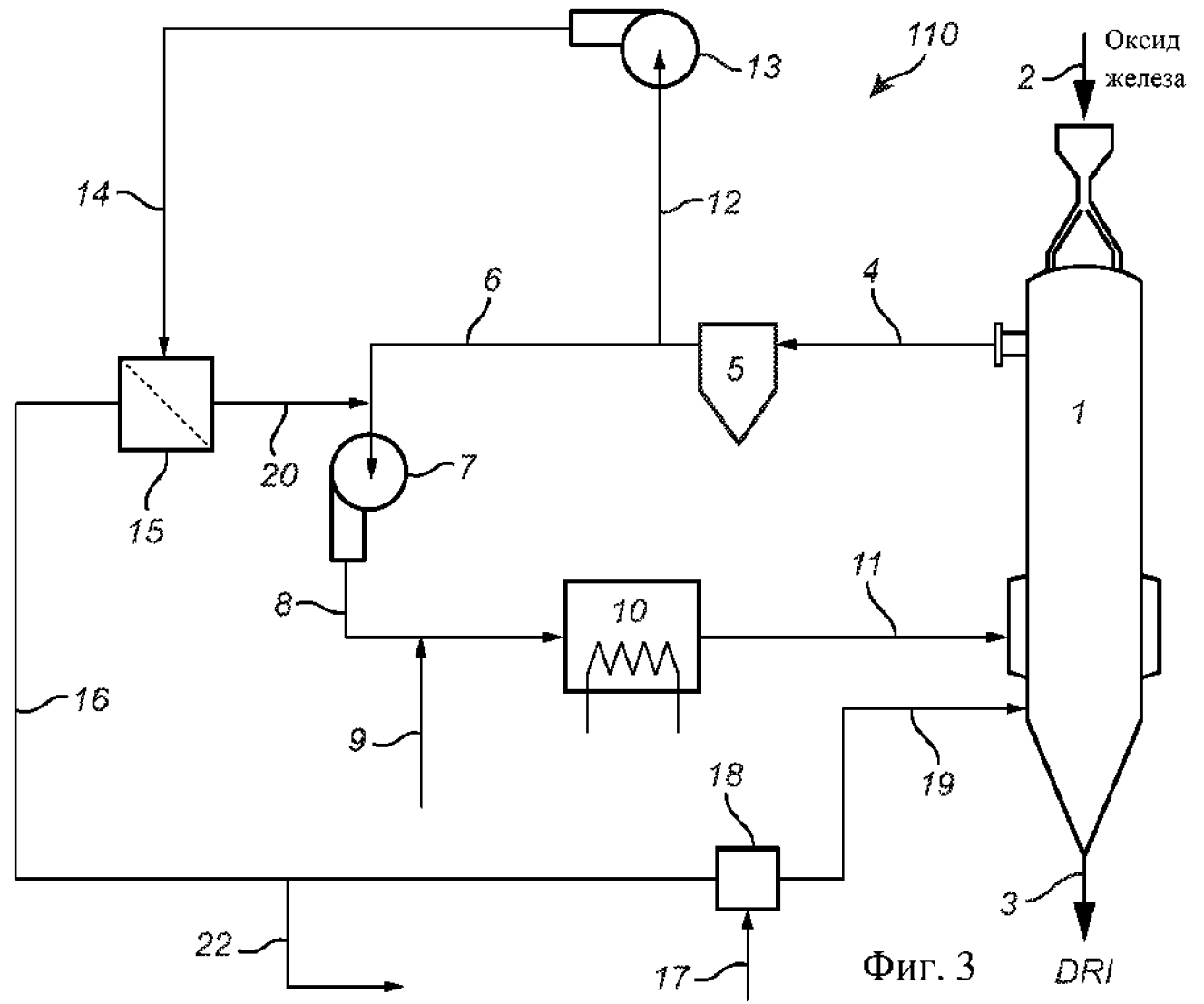
26. Система по п. 18, отличающаяся тем, что работающий без пламени нагреватель восстановительного газа представляет собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

27. Система по п. 20, отличающаяся тем, что работающий без пламени нагреватель восстановительного газа представляет собой электрический нагреватель, использующий электрическую энергию.

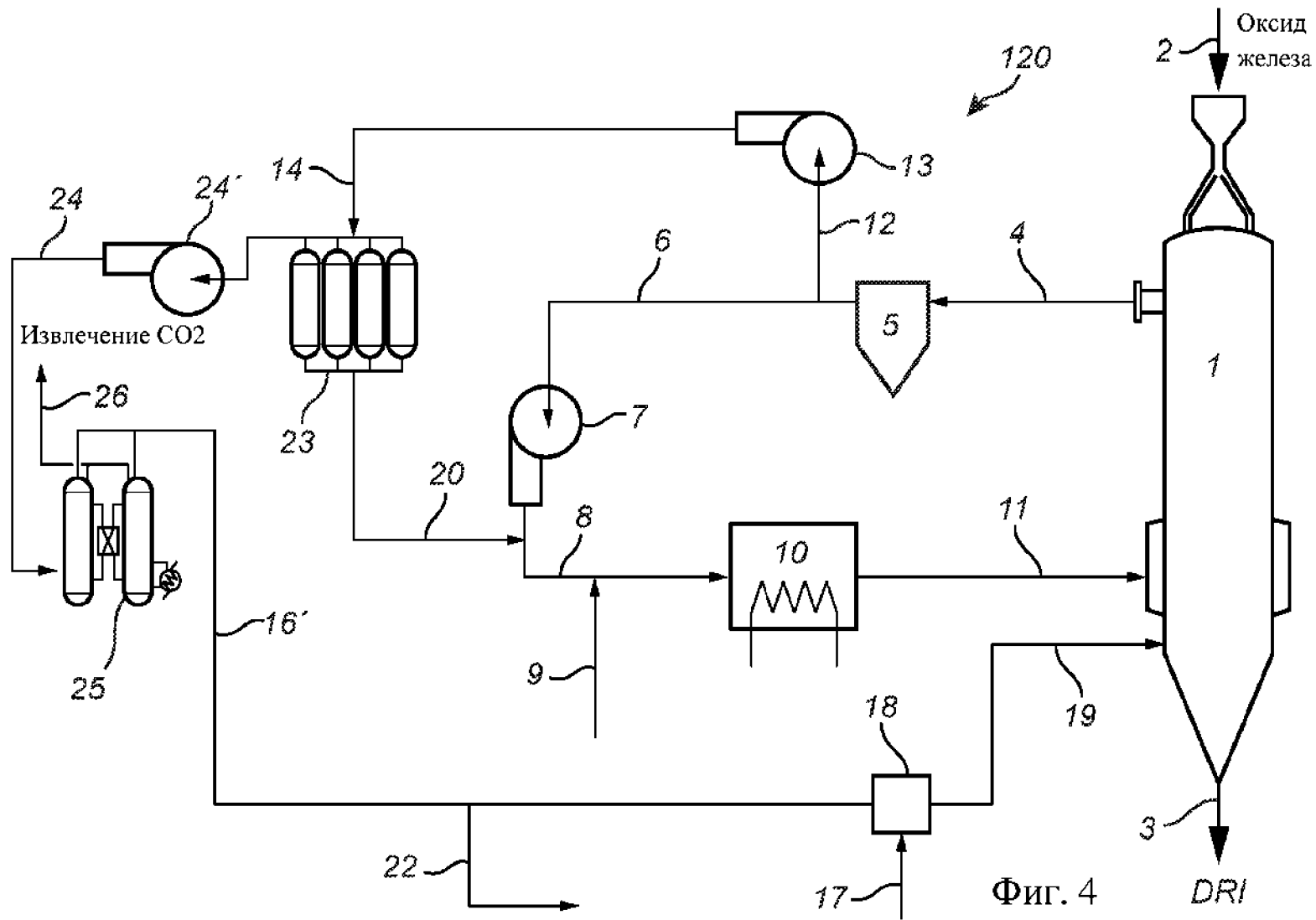




Фиг. 2

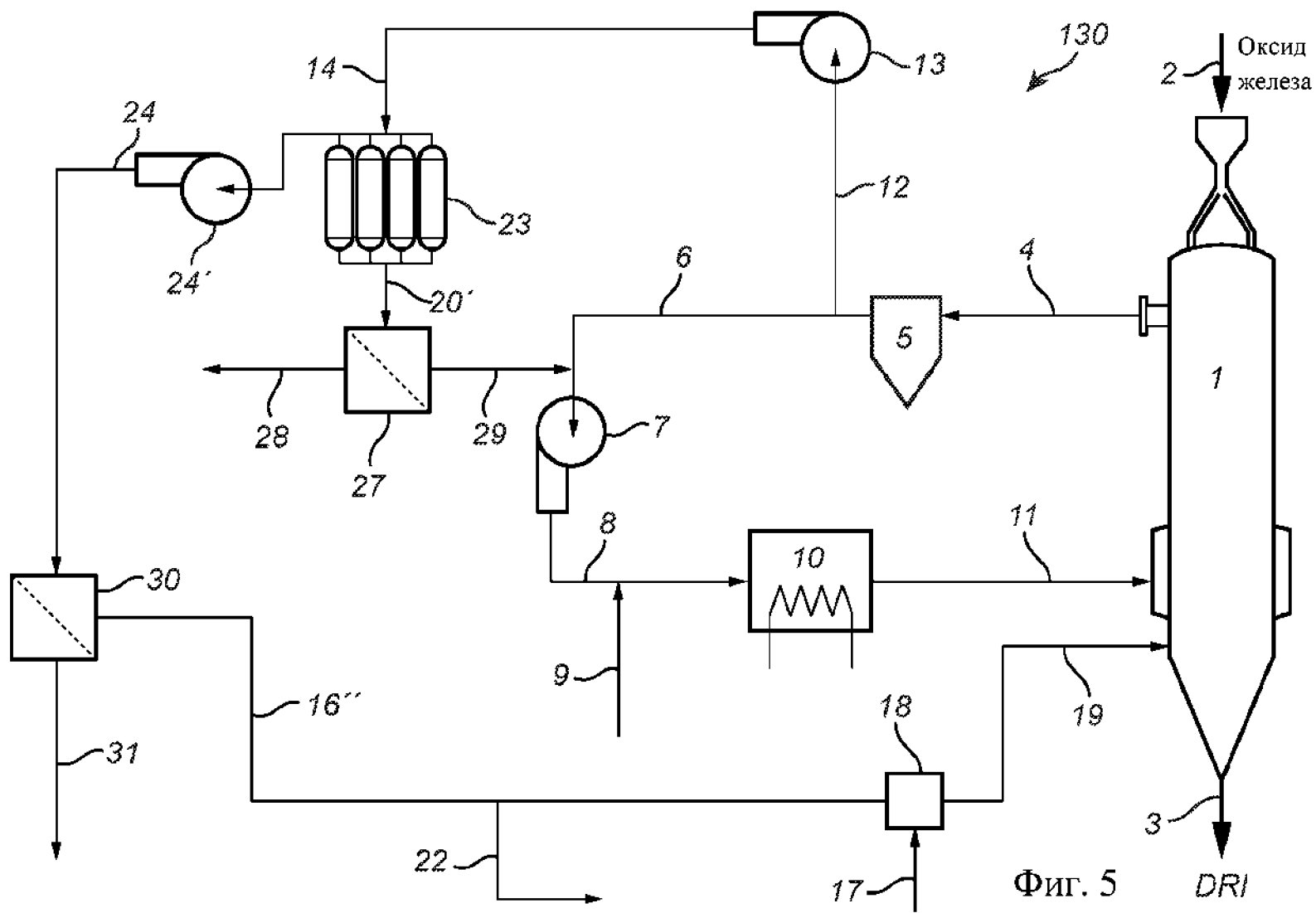


Фиг. 3



Фиг. 4





Фиг. 5