

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045892**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.01.15**

(51) Int. Cl. **C21B 13/00** (2006.01)  
**C21B 13/14** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202390422**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.07.23**

---

(54) **СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ПРОДУКТОВ**

---

(31) **LU101960**

(32) **2020.07.28**

(33) **LU**

(43) **2023.04.06**

(86) **PCT/EP2021/070627**

(87) **WO 2022/023187 2022.02.03**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ПАУЛЬ ВЮРТ С.А. (LU)**

(72) Изобретатель:  
**Круль Ян, Кастаньола Кристиано,  
Маньяни Стефано (IT)**

(74) Представитель:  
**Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,  
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов  
А.В., Кузнецова Е.В., Соколов Р.А.,  
Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2017046653  
EP-A2-0997693  
CN-A-105755195  
WO-A1-2011143718  
US-A1-2018036804  
WO-A2-2009037587**

---

(57) Изобретение относится к способу эксплуатации металлургической установки для производства железных продуктов, причем металлургическая установка включает в себя установку (12) прямого восстановления и производящую чугуна установку (14), причем металлургическая установка включает в себя: подачу шихты железной руды в установку прямого восстановления для производства железных продуктов прямого восстановления, эксплуатацию производящей чугуна установки для производства передельного чугуна, причем в качестве восстановительного агента в производящую чугуна установку вводят биоуголь, и посредством этого производящая чугуна установка вырабатывает содержащий CO и CO<sub>2</sub> отходящий газ, обработку отходящего газа из производящей чугуна установки в установке (32) обогащения водородом для образования богатого водородом потока и богатого CO<sub>2</sub> потока. Богатый водородом поток непосредственно или опосредованно подают к установке прямого восстановления. Также описана соответствующая металлургическая установка.

---

**B1**

**045892**

**045892**

**B1**

Изобретение, в общем, относится к области металлургии железа и, прежде всего, к металлургической установке и способу производства железных продуктов. Более конкретно изобретение относится к металлургии железа, основанной на процессе прямого восстановления железной руды.

Производственные процессы вносят значительный вклад в общие выбросы  $\text{CO}_2$ , и современный процесс изготовления чугуна и стали является очень энергоемким и углеродоемким.

С учетом Парижского соглашения и почти всемирного согласия о необходимости действий в отношении выбросов является необходимым, чтобы каждая отрасль промышленности обращала внимание на разработку решений, направленных на улучшение энергетической эффективности и уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$ . Одной технологией, разработанной для уменьшения углеродного следа во время производства стали, является процесс прямого восстановления железной руды. Хотя годовое производство железа прямым восстановлением остается небольшим по сравнению с производством передельного чугуна в доменных печах, оно является действительно очень привлекательным из-за его сравнительно низких выбросов  $\text{CO}_2$ , которые на 40-60% ниже для технологического маршрута прямого восстановления в электродуговой печи (EAF) по сравнению с доменной печью, кислородно-конверторным маршрутом.

В шахтной печи прямого восстановления шихта из гранулированной или кусковой железной руды загружается в верхнюю часть печи и опускается под действие силы тяжести через восстанавливающий газ. Восстановительный газ, состоящий из водорода и монооксида углерода (сингаз) течет вверх через слой руды. Восстановление оксидов железа происходит в верхней части печи, обычно при температурах до  $950^\circ\text{C}$  или даже выше. Твердый продукт, называемый железом прямого восстановления (DRI), обычно загружается в горячем состоянии в электродуговые печи или брикетуется в горячем состоянии, с образованием горячебрикетированного железа (HBI).

В большинстве существующих применений DRI вышеупомянутый сингаз вырабатывается посредством реформирования природного газа. В некоторых случаях подходящий газ уже имеется, в силу чего природный газ не требуется. Как известно из уровня техники, DRI и похожие продукты загружаются в доменную печь или вырабатывающую чугун установку или в плавильную печь, такую как EAF, для работы передельного чугуна или стали.

WO2017/046653 раскрывает способ и устройство для прямого восстановления железных руд с использованием полученного из угля газа. Способ производства DRI использует синтетический газ, содержащий относительно высокую долю  $\text{CO}$  с отношением  $\text{H}_2/\text{CO}$  ниже, чем примерно 0,5, в системе восстановления, включающей в себя реактор восстановления, из которого горячий поток восстановительного газа отводится в виде верхнего газа, теплообменник, в котором тепло отбирается из горячего верхнего газа и передается к потоку жидкой воды, и увлажнитель газа. Плавильная печь-газификатор используется для получения шлака и передельного чугуна из железной руды, вырабатывая посредством этого содержащий  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  отходящий газ. Выходящий из плавильной печи-газификатора отходящий газ подвергается обработке (очистке, сжатию...), прежде чем он подается в две следующие друг за другом установки для конверсии  $\text{CO}$  для увеличения количества  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}_2$  в потоке газа. Этот поток затем подается в установку удаления  $\text{CO}_2$ , образуя посредством этого богатый  $\text{CO}_2$  поток и богатый водородом поток. Богатый водородом поток подается в реактор восстановления. Богатый  $\text{CO}_2$  поток удаляется.

EP 0997 693 относится к способу объединения доменной печи и реактора прямого восстановления с использованием криогенной ректификации. Очищенный доменный газ подается к реактору сдвига вода-газ. Затем содержащий главным образом  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}_2$  результирующий поток газа подается к установке для удаления кислого газа и к установке метанизации. Для отделения азота от водорода используется криогенная установка. Диоксид углерода удаляется из системы в системе горячего карбоната калия или в системе адсорбции с перепадом давления.

Целью настоящего изобретения является обеспечение улучшенного подхода для производства железных продуктов прямого восстановления, который, прежде всего, является более экологически чистым.

#### **Краткое изложение сущности изобретения**

Эта цель достигнута посредством способа по п.1 формулы изобретения.

Настоящее изобретение относится к способу эксплуатации металлургической установки для производства железных продуктов, включающему в себя:

подачу шихты железной руды в установку прямого восстановления для получения железного продукта прямого восстановления,

эксплуатацию производящей чугун установки для выработки передельного чугуна, причем в качестве восстановительного агента в производящую чугун установку вводится биоуголь, и посредством этого производящая чугун установка генерирует содержащий  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  отходящий газ,

обработку отходящего газа из производящей чугун установки в установке обогащения водородом для образования богатого водородом потока и богатого  $\text{CO}_2$  потока,

причем по меньшей мере часть (то есть, доля или до 100%) богатого водородом потока подается к установке прямого восстановления, а

богатый  $\text{CO}_2$  поток по меньшей мере частично конвертируют для переработки в установке прямого восстановления, прежде всего конвертируют в сингаз или природный газ.

Настоящее изобретение обеспечивает оптимальную конфигурацию установки прямого восстанов-

ления и производящей чугуна установки, когда они расположены в одном месте и основаны на источниках зеленой энергии, прежде всего биомассе. Предпочтительно, биоуголь производят на месте посредством установки пиролиза биомассы из материала биомассы.

Согласно изобретению биоуголь используют в качестве восстановительного агента в производящей чугуна установке, и отходящий газ производящей чугуна установки (частично или полностью) затем перерабатывают в газовый поток, который используют в установке прямого восстановления.

Производящая чугуна установка получает шихту из материала - носителя железа, которая, как будет объяснено далее, может иметь разное происхождение и, прежде всего, происходит из установки DR.

В разных вариантах осуществления достигнута синергия газов, а также твердых материалов:

установка прямого восстановления использует отходящие газы от производящей чугуна установки,

производящая чугуна установка может извлекать пользу от использования пыли и остатка из установки DR. Так, следует признать, что отходы из установки DR могут быть повторно использованы в производящей чугуна установке, производящая чугуна установка может также/альтернативно извлекать пользу от использования DRI (прямовосстановленного железа)/HDRI (горячего прямовосстановленного железа)/HBI (горячебрикетированного железа), полученного посредством установки прямого восстановления.

Преимуществом изобретения является оптимизированная и сбалансированная связь между установкой прямого восстановления и производящей чугуна установкой, а также факт, что они обе основаны на зеленой энергии/зеленом топливе.

Соответственно, произведенные посредством установки прямого восстановления железные продукты, можно называть зелеными металлическими продуктами.

В настоящем тексте DR означает "прямое восстановление" или "прямовосстановленный" в зависимости от контекста.

По меньшей мере часть выработанного установкой обогащения водородом богатого водородом потока может быть непосредственно отправлено к установке прямого восстановления, где он может быть использован в качестве газа или топлива для металлургических целей и/или для целей отопления. Следовательно, богатый водородом поток может быть частью потока восстановительного газа и/или потоком газообразного топлива.

Как отмечено выше, предпочтительно, по меньшей мере часть (то есть, доля или до 100%) богатого CO<sub>2</sub> потока конвертируют для переработки в установке прямого восстановления. В зависимости от вариантов осуществления богатый CO<sub>2</sub> поток может быть, прежде всего, конвертирован для образования сингаза или природного газа (газовый поток, образованный главным образом из метана). Это особо предпочтительно, поскольку предлагаемая металлургическая установка таким образом способна повторно использовать CO<sub>2</sub> с пользой для установки прямого восстановления. Следовательно, CO<sub>2</sub> не выбрасывается или перерабатывается где-то в другом месте, а используется непосредственно на месте.

Напротив, в предлагаемых WO2017/046653 и EP 0997 693 способах диоксид углерода удаляется из системы и не конвертируется для переработки в установке прямого восстановления.

Предпочтительно, богатый CO<sub>2</sub> поток может подаваться в установку электролиза воды, предпочтительно, дополнительно питаемую потоком пара для образования потока сингаза, который доставляется к установке прямого восстановления. Этот поток сингаза типичным образом содержит главным образом водород и монооксид углерода, и, следовательно, может быть переработан в установке прямого восстановления в качестве восстановительного газа или газообразного топлива. Общее содержание H<sub>2</sub> и CO в потоке сингаза может составлять по меньшей мере 60 об.%, предпочтительно 70 или 80 об.%.

В вариантах осуществления по меньшей мере часть богатого водородом потока направляют к установке прямого восстановления опосредованно. Термин "опосредованно" здесь подразумевает, что богатый водородом поток преобразуют/конвертируют на его пути к установке прямого восстановления в газовый поток, который может перерабатываться в установке прямого восстановления. Например, богатый водородом поток и богатый CO<sub>2</sub> поток может направляться от установки обогащения водородом к установке метанизации для образования потока метана. Этот поток направляют к установке прямого восстановления для использования в качестве части потока восстановительного газа и/или в качестве части потока газового топлива.

В вариантах осуществления богатый водородом газ, непосредственно или опосредованно, перерабатывается в установке прямого восстановления для использования в качестве технологического газа. При этом восстановительный газ вводится в установку DR для уменьшения содержания носителей железа в окатышах/агломератах. В контексте изобретения окатыши/агломераты обычно включают в себя только носители железа (например, железнорудные частицы/мелочь). Окатыши/агломераты обычно не содержат добавленный твердый восстановительный материал (древесный/каменный уголь или содержащие углерод материалы), за исключением следов или неизбежных количеств.

В вариантах осуществления установка DR может включать в себя печь прямого восстановления или реактор и дополнительное оборудование в зависимости от технологии прямого восстановления, которая реализуется. Например, установка DR может включать в себя в дополнение к печи DR печь реформинга и систему рекуперации тепла. В таком случае поток метана может использоваться частично в качестве

газообразного топлива для нагревания печи реформинга и/или частично в качестве технологического газа посредством реформинга и/или посредством прямого ввода в печь DR.

В вариантах осуществления установка электролиза воды связана с установкой метанизации, посредством чего выходящий из установки метанизации поток пара подают в установку электролиза для образования вспомогательного потока водорода, который возвращают в установку метанизации. Это обеспечивает удобный способ переработки водяного пара из процесса метанизации. Факультативно, в установку электролиза воды может быть введен дополнительный поток пара, предпочтительно, из зеленого источника энергии.

Когда предполагается переработка потока отходящего газа производящей чугуна установки в качестве металлургического газа (восстановительный газ) в шахтной печи прямого восстановления, является желательным удаление азота. С этой целью часть потока отходящего газа из производящей чугуна установки может быть обработана в отделяющей азот установке перед направлением к установке обогащения водородом. В вариантах осуществления установка удаления азота может быть расположена на выходном потоке установки обогащения водородом вместо ее входного потока.

Настоящее изобретение может быть реализовано с существующим хорошо известным в металлургической промышленности оборудованием. Например, установка прямого восстановления, производящая чугуна установка, установка пиролиза биомассы могут быть основаны на подходящей технологии. Используемые в изобретении системы обработки газа также хорошо известны, поскольку они используются в металлургической промышленности и более обще в химической промышленности.

Например, установка обогащения водородом может быть основана на множестве технологий. Прежде всего, установка обогащения водородом может включать в себя реактор сдвига вода-газ.

Установки пиролиза биомассы используются во многих отраслях. При эксплуатации в режиме так называемого "медленного пиролиза" они производят биоуголь и биогаз, которые могут быть использованы в качестве углеродистого материала для нагревания и других целей, прежде всего для металлургических применений. В контексте настоящего изобретения термин "биоуголь" используется для обозначения твердых продуктов пиролиза, которые могут быть использованы в качестве восстановительного агента в производящей чугуна установке и которые обычно называются биоуглем или биококсом.

Производящая чугуна установка питается биоуглем в качестве восстановительного агента. В этом контексте биоуголь представляет главную часть восстановительного агента, а именно по меньшей мере 70%, 80%, 90% (по массе), а предпочтительно до 100%.

Установки удаления азота обычно используются в области производства природного газа.

Установки электролиза воды также являются общепринятыми и используются для преобразования воды в водород.

Установка DR может обеспечивать реализацию разных технологий. В вариантах осуществления она включает в себя шахтную печь, печь реформинга и систему рекуперации тепла. В других вариантах осуществления она включает в себя шахтную печь, нагреватель и установку удаления CO<sub>2</sub> (то есть, без дополнительной печи реформинга). Такие установки DR могут эксплуатироваться с природным газом и/или с восстановительными потоками. Они являются только примерами, и специалист будет знать, как выбрать подходящие процессы восстановления.

Также производящая чугуна установка может обеспечивать реализацию разных технологий.

Обычно вырабатывающая чугуна установка может включать в себя доменную печь или плавильно-восстановительный реактор, причем оба питаются биоуглем в качестве восстановительного агента. Плавильно-восстановительный реактор типичным образом включает в себя противоточный реактор, питаемый смесью носителей железа (несущих железо материалов) и твердых восстановительных агентов. Типичным образом носители железа часто могут присутствовать в виде кусковой руды, окатышей или мелочи (мелких частиц). Твердые восстановительные агенты обычно включают в себя уголь или углерод, однако в контексте изобретения в качестве восстановительного агента используется биоуголь. Как известно, восстановительная плавка используется для производства жидкого горячего металла подобно доменной печи, но без зависимости от кокса. Она требует небольшой подготовки подаваемого материала и использует уголь (или углерод), кислород и/или электрическую энергию.

В вариантах осуществления производящая чугуна установка включает в себя обычно низкий противоточный реактор, питаемый смесью носителей железа (несущих железо материалов) и твердых восстановительных агентов. Носители железа типичным образом являются агломерированными исходя из мелкозернистых руд с добавлением к ним части восстановительных агентов для облегчения реакций получения железа. Материалы загружают в реактор сверху через специальные каналы. Воздух, зачастую обогащенный кислородом, а также газообразные восстановительные агенты вдувают с нижней части реактора. Передельный чугун и шлак выпускают из нижней части. Такой вид восстановительно-плавильного реактора с вертикальными штабелями материалов раскрыт, например, в WO 2019/110748 и включен в данный документ по ссылке. Как понятно специалисту в данной области техники, такой низкий реактор основан на восстановлении при низком давлении с подвижным слоем, является гибким в отношении несущих железо и несущих углерод сырьевых материалов, которые он может перерабатывать. Способность расплавлять или окатыши или брикеты или даже смешанные загрузки из них обеспечивает средство

для использования широкого диапазона альтернативных питающих материалов.

Здесь можно отметить, что такой вид низкого восстановительно-плавильного реактора обычно вырабатывает значительные количества отходящего газа, сравнительно больше, чем другие технологии восстановительной плавки, делая его особо пригодным для использования в контексте изобретения, то есть для использования отходящего газа в установке прямого восстановления. Другими словами, плавильно-восстановительный реактор обеспечивает осуществимое решение для идеи изобретения, где отходящий газ производящей чугуна установки должен быть способен обеспечить главный источник газа для эксплуатации установки прямого восстановления. Также доменная печь вырабатывает достаточное количество газа.

В контексте изобретения желательно, чтобы отходящий газ производящей чугуна установки имел совместное содержание CO и CO<sub>2</sub> по меньшей мере 25 об.%, предпочтительно более 30, 35 или 40 об.%. Предпочтительно, содержание CO составляет по меньшей мере 20, 25 или 30 об.%.  
 Как будет понятно специалисту в данной области техники, некоторые восстановительно-плавильные печи (такие как, например, вышеупомянутый низкий противоточный реактор или домовая печь) могут вырабатывать значительные количества азота. В таком случае рекомендуется использование установки удаления азота из потока отходящего газа.

Настоящее изобретение в разных возможных вариантах осуществления обеспечивает несколько преимуществ:

Основанное на биомассе/зеленой энергии производство передельного чугуна, DRI (в разных формах) и стали.

Синергию двух технологий производства железа, где установка прямого восстановления использует отходящие газы производящей чугуна установки, полностью основанных на биомассе/зеленой энергии, становясь в результате этого самой основанной на биомассе/зеленой энергии.

Эксплуатацию установки прямого восстановления, использующей отходящие газы производящей чугуна установки без потребности в любых шагах удаления CO<sub>2</sub> или N<sub>2</sub> из таких отходящих газов.

Объединение двух технологий производства железа, где производящая чугуна установка пригодна для использования мелочи и остатков из установки прямого восстановления. Прежде всего, конфигурация согласно изобретению позволяет загружать пыль, мелочь и другие остатки из установки DR в качестве части подлежащей плавке шихты. Эти материалы, то есть пыль, мелочь и другие остатки могут быть, в зависимости от технологии производящей чугуна установки, повторно использованы в насыпном виде (форма небольших частиц) или в виде агломератов (разного размера). Эта возможность простого повторного использования пыли, мелочи и других остатков из установки прямого восстановления на том же месте в производящей чугуна установке является весьма предпочтительной и особо просто используемой с вышеупомянутой восстановительной плавкой, включающей в себя использование низкого противоточного реактора.

Конфигурация из двух производящих чугуна технологий, где производство DRI в установке прямого восстановления может быть побочным продуктом производящей чугуна установки в любых случаях с установками, соединенными таким образом, что установка прямого восстановления может также эксплуатироваться, когда производящая чугуна установка не работает.

В дополнительных вариантах осуществления по меньшей мере часть прямовосстановленного продукта из установки прямого восстановления подают к производящей чугуна установке в качестве части подлежащей плавке в ней шихты, причем прямовосстановленные продукты включают в себя губчатое железо и/или кусковые прямовосстановленные продукты.

Работа производящей чугуна установки может регулироваться на основании количества рециркулированного отходящего газа. Причем работу производящей чугуна установки (14) замедляют или прекращают после достижения устойчивого состояния работы в установке прямого восстановления.

Согласно другому аспекту изобретения также относится к металлургической установке для производства железных продуктов, включающей в себя:

установку прямого восстановления, выполненную для производства прямовосстановленных продуктов из загрузки железной руды,

установку пиролиза биомассы, выполненную для выработки биоугля из материала биомассы, производящую чугуна установку, выполненную для производства передельного чугуна, причем производящая чугуна установка использует биоуголь в качестве восстановительного материала и выработки отходящего газа,

установку обогащения водородом, выполненную для приема отходящего газа производящей чугуна установки и выработки богатого водородом потока и богатого CO<sub>2</sub> потока, и

средство для конвертирования CO<sub>2</sub> в поток газа, который перерабатывается в установке прямого восстановления,

причем богатый водородом поток непосредственно или опосредованно перерабатывают в установке прямого восстановления.

В дополнительных вариантах осуществления металлургическая установка включает в себя установку метанизации, выполненную для приема богатого водородом потока и богатого CO<sub>2</sub> потока из установ-

ки обогащения водородом и выработки из них потока биогаза, прежде всего потока метана, который направляют к установке прямого восстановления.

Металлургическая установка включает в себя установку электролиза воды, связанную с установкой метанизации, причем выходной поток пара из установки метанизации подают к установке электролиза для образования вспомогательного потока водорода, который возвращают к установке метанизации. В другом варианте металлургическая установка включает в себя установку электролиза воды, связанную с установкой обогащения водородом, причем установка электролиза воды выполнена для приема богатого  $\text{CO}_2$  потока, а также потока пара, и образования потока сингаза, который подают к установке прямого восстановления.

Установка прямого восстановления включает в себя шахтную печь, реформер и систему рекуперации тепла. В другом варианте осуществления установка прямого восстановления включает в себя шахтную печь, нагреватель и установку удаления  $\text{CO}_2$ .

Установка обогащения водородом включает в себя реактор сдвига вода-газ.

Установка удаления азота расположена на потоке отходящего газа из производящей чугуна установки к установке обогащения водородом или на потоке на выходе из установки обогащения водородом.

Установка обогащения водородом соединена напрямую с установкой прямого восстановления для подачи по меньшей мере части богатого водородом потока.

Металлургическая установка может также включать в себя средства для транспортировки пыли, мелочи и других остатков из установки прямого восстановления к производящей чугуна установке в качестве части подлежащей плавлению в ней шихты.

Вышеупомянутые и другие варианты осуществления изложены в прилагаемых пунктах формулы изобретения.

#### **Краткое описание чертежей**

Другие подробности и преимущества настоящего изобретения будут понятны из следующего подробного описания не ограничивающих вариантов осуществления со ссылкой на прилагаемые чертежи, причем фиг. 1-4 являются схемами, иллюстрирующими четыре разных варианта осуществления металлургической установки, реализующих настоящий способ. На фигурах, если не указано иначе, одинаковые или подобные элементы обозначены одинаковыми ссылочными обозначениями.

#### **Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления**

На фиг. 1 показана первая схема установки 10 для реализации настоящего способа. Двумя главными компонентами установки 10 являются установка 12 прямого восстановления и производящая чугуна установка 14. Установка 10 также включает в себя установку 16 пиролиза биомассы, которая производит биоуголь, используемый в производящей чугуна установке 14 в качестве восстанавливающего агента.

Как будет видно в разных вариантах осуществления, предлагаемые компоновки обеспечивают оптимальную конфигурацию для комбинации установки 12 прямого восстановления и производящей чугуна установки 14, основанной на источниках зеленой энергии. Во всех вариантах осуществления имеется синергия газов (установка прямого восстановления использует отходящий газ из производящей чугуна установки), а также твердых материалов (производящая чугуна установка может извлекать пользу от использования пыли и остатков, а также от DRI/HDMI/HBI, производимых установкой DR).

Установка 12 прямого восстановления имеет обычную конструкцию. В данном варианте осуществления ее основное оборудование включает в себя (без ограничений) шахтную печь с верхним входным отверстием и нижним выходным отверстием, печь реформинга и систему рекуперации тепла (не показана). Шихту 18 железной руды в кусковой и/или гранулированной форме загружают в верхнюю часть печи, и позволяют ей опускаться под действием силы тяжести через восстанавливающий газ. Типичным образом установлено дополнительное механическое оборудование для облегчения опускания твердого материала.

Шихта остается в твердом состоянии во время перемещения от входного отверстия к выходному отверстию. Восстановительный газ вводят в шахтную печь сбоку в основание зоны восстановления, протекающим вверх через слой руды. Восстановительная атмосфера включает в себя главным образом  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . Восстановление оксидов железа происходит в верхней части печи при температурах до  $950^\circ\text{C}$  и выше. В зависимости от варианта осуществления шахтная печь может включать в себя переходную зону ниже зоны восстановления. Эта зона имеет достаточную длину для отделения зоны восстановления от зоны охлаждения, делая возможным независимое управление обоими зонами.

Однако согласно современной практике шахтная печь типичным образом включает в себя не зону охлаждения, а зону выгрузки (непосредственно под зоной восстановления). Таким образом, твердый продукт шахтной печи выгружается горячим. Тогда он может быть:

- 1) загружен горячим в расположенное ниже по потоку производящее сталь оборудование (электродуговую печь (EAF), погружную дугую печь (SAF)),
- 2) брикетирован в горячем состоянии с образованием HBI,
- 3) охлажденным в отдельном резервуаре в виде холодного прямовосстановленного железа (Cold DRI),
- 4) комбинацией трех предыдущих продуктов.

Основой производящей чугуна установки 14 здесь является обычная производящая передельный чугун установка с относительно низким противоточным реактором, питаемая смесью носителей железа (несущих железо материалов) и твердых восстановительных агентов. Носители железа обычно являются агломерированными исходя из мелкозернистых руд с добавлением в них части восстановительных агентов для облегчения производящих железо реакций. Материалы загружают в реактор передельного чугуна сверху через специальные каналы. Воздух, зачастую обогащенный кислородом, а также газообразные восстановительные агенты вдувают с нижней части реактора. Передельный чугун и шлак выпускают из нижней части (прямоугольник 24). Реактор может включать в себя верхний штабель для наполнителя (носителей железа) на нижнем штабеле. Питатели твердого топлива расположены вокруг места перехода между верхним и нижним штабелями для топливного наполнителя. Топливо также вводят центрально через насадку, расположенную центрально на верхней части верхнего штабеля. Таким образом, разные материалы наполнителя загружают в вертикальные штабели.

Такой вид плавильно-восстановительного реактора с вертикальными штабелями материалов раскрыт, например, в WO 2019/110748 и включен в данный документ по ссылке. Использование такого вида плавильно-восстановительного реактора предназначено для эксплуатации с восстановителями уголь/углерод и приспособлен для эксплуатации с биоуглем.

Он также делает возможной большую гибкость в отношении загрузки носителей железа, также делая возможным повторное использование пыли, мелочи и других остатков из установки DR, которые могут быть введены в виде кусков (частиц) или в агломерированной форме в плавильно-восстановительный реактор.

Установка 16 пиролиза биомассы также обычная. Принципом действия является пиролиз: биомасса нагревается при (почти полном) отсутствии кислорода, результатом чего являются три различные фазы, называемые соответственно углем (твердая), смолой или бионефтью (жидкая) и сингазом (неконденсируемые газы). Распределение продукта среди трех фаз зависит от рабочих параметров, главным образом размера образца, времени пребывания и температуры. В контексте изобретения особо рассматриваемым является так называемый медленный пиролиз (или обугливание), проводимый при температурах от 400 до 500°C с относительно большим временем пребывания, посредством чего основным продуктом является уголь. Установка 16 пиролиза обычно может включать в себя реактор, который нагревается посредством электрической энергии.

Сырой вводимый в установку 16 пиролиза материал 22 биомассы может быть различным. Он типичным образом является материалом, называемым биотопливом и может включать в себя:

- i) древесную биомассу и побочные продукты лесной промышленности: куски древесины, древесную щепу и все другие продукты лесной промышленности (опилки, отходы лесопильных предприятий ...),
- ii) продукты сельскохозяйственного сектора: энергетические культуры (хворост, китайский тростник, зерно ...), а также остатки сельскохозяйственных культур (солону, жмых, шелуху ...),
- iii) органические побочные продукты промышленности: такие как шлам бумажного производства или отходы пищевой промышленности (FPI),
- iv) органические отходы: обычные отходы, сточные воды ферм или другие отходы городского хозяйства (шламы сточных вод), и комбинации из них.

Из биомассы 22 установка 16 пиролиза производит два потока:

- биогаз В2, который может быть направлен к газораспределительной сети;
- уголь В3 (например, биоуголь или биококс), который направляется к производящей чугуна установке 14.

Транспортировку угля к производящей чугуна установке 14 выполняют любым подходящим способом, например, посредством конвейеров, рельс, коробов и т.п.

В производящей чугуна установке 14 используют шихту, включающую в себя биоуголь В3 и железнорудную мелочь Т1 (прямоугольник 26). Железнорудную мелочь Т1 при необходимости соответствующим образом агломерируют перед загрузкой в установку 14. Это может включать в себя несколько обработок железнорудной мелочи, также с использованием части биоугля В3. В данном варианте осуществления поток D3 пыли, мелочи и других остатков из установки 12 DR используют для замены части Т1 в процессе агломерации. Поэтому часть шихты производящей чугуна установки состоит из отходов установки 12 DR.

Биоуголь В3 действует в качестве восстановительного агента, делая посредством этого возможными реакции, необходимые для удаления кислорода из несущих железо материалов.

Поток отходящего газа производящей чугуна установки 14 обозначен через Т3 и содержит главным образом CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>. Обычно общее содержание CO и CO<sub>2</sub> в отходящем газе может составлять по меньшей мере 25 об.%, предпочтительно более 30, 35 или 40 об.%.

Представленная ниже таблица 1 приводит в качестве примера состав разных газовых потоков для варианта осуществления согласно фиг. 1.

Таблица 1

Материальные потоки конфигурации с метанизацией для прямовосстановленного природным газом железа

Передельный чугун (Т2) Поток 1 тонна			Пар из установки DR* (S4) Поток 558,8 нм <sup>3</sup>			СО <sub>2</sub> из WGS (С1) Поток 590,5 нм <sup>3</sup>		
Состав	94,64	Fe % мас.	Пар к WGS** (S2) Поток 340 нм <sup>3</sup>			Состав	95	СО <sub>2</sub> % об.
	3,50	С % мас.					5	Н <sub>2</sub> % об.
Порошок железной руды (Т1) Поток 1,440 тонн			Пар к SOEC*** (S3) Поток 1033 нм <sup>3</sup>			Н <sub>2</sub> из WGS (НУ1) Поток 624,2 нм <sup>3</sup>		
Состав	65	Fe % мас.	Пар из метанизации (S5) Поток 1122 нм <sup>3</sup>			Состав	83,31	Н <sub>2</sub> % об.
	30	О % мас.					15,86	СО <sub>2</sub> % об.
Порошок из DR (D3) Поток 0,060 тонн			Отходящий газ (Т3) Поток 2000 нм <sup>3</sup>			Н <sub>2</sub> из SOEC (НУ2) Поток 1930,6 нм <sup>3</sup>		
Состав	95,5	Fe % мас.	Состав	24	СО % об.	Состав	89,30	Н <sub>2</sub> % об.
	3,5	С % мас.		9	СО <sub>2</sub> % об.		10,70	Н <sub>2</sub> О % об.
	1	О % мас.		2	Н <sub>2</sub> % об.			
Железная руда (P1) Поток 2,525 тонн						Природный газ NG1) Поток 694,7 нм <sup>3</sup>		
Состав	70	Fe % мас.	Отходящий газ к WGS (Т4) Поток 874,7 нм <sup>3</sup>			Состав	80,75	СН <sub>4</sub> % об.
	30	О % мас.					14,25	СО <sub>2</sub> % об.
НВ1**** (D4) Поток 1,870 тонн						Дымовой газ (F1) Поток 3585,0 нм <sup>3</sup>		
Состав	95,5	Fe % мас.	Состав	54,87	СО % об.	Состав	5,00	Н <sub>2</sub> % об.
	3,5	С % мас.		20,58	СО <sub>2</sub> % об.			
	1	О % мас.		4,57	Н <sub>2</sub> % об.		63	Н <sub>2</sub> % об.
Суммарная потребность в паре (S1) Поток 1373 нм <sup>3</sup>			Удаленный N <sub>2</sub> (Т5) Поток 1125,3 нм <sup>3</sup>			22		
						Н <sub>2</sub> О % об.		
			Состав			15		
			100			СО <sub>2</sub> % об.		
						Н <sub>2</sub> % об.		

\* Прямое восстановление.

\*\* Сдвиг вода-газ.

\*\*\* Ячейка твердооксидного электролизера.

\*\*\*\* Горячебрикетированное железо.

Поток отходящего газа проходит через факультативную очищающую установку 28, причем удаляется некоторое количество N<sub>2</sub>, а также пыль и другие компоненты. Выходной поток Т5 N<sub>2</sub> направляют в накопитель 30 N<sub>2</sub> для возможной переработки.

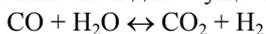
Остаточный поток Т4 отходящего газа, выходящий из очищающей установки 28, содержит в основном СО, СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О и направляется в конвертер 32. Удаляемое количество N<sub>2</sub> зависит от содержания N<sub>2</sub> в потоке Т3 и допустимого максимума N<sub>2</sub> в установке 12 DR. В настоящем варианте осуществления выбранная для производящей чугун установки 14 технология вырабатывает значительное количество N<sub>2</sub>. Оно может отличаться при использовании других технологий.

Конвертер 32 (также называемый установкой обогащения водородом) выполнен для конвертирования СО и Н<sub>2</sub>О в СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub> и для выработки богатого СО<sub>2</sub> потока С1 и отдельного богатого Н<sub>2</sub> потока НУ1.

Поток НУ1 типичным образом состоит из Н<sub>2</sub>, СО<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> (количество N<sub>2</sub> зависит от технологии производящей чугун установки и присутствия очищающей установки 28). В отличие от N<sub>2</sub> главным компонентом потока НУ1 является Н<sub>2</sub>.

В силу конструкции установки 32 большая часть содержания N<sub>2</sub> потока Т4 будет типичным образом направлена в поток НУ1. Соответственно, поток С1 содержит по существу СО<sub>2</sub>, типичным образом выше 90%.

Поскольку разделение двух потоков С1 и НУ1 может быть дорогостоящим, можно предпочесть единственный выходной поток, составленный из смешанных друг с другом С1 и НУ1. Конвертер 32 здесь выполнен для осуществления реакции сдвига вода-газ:



Конвертеры сдвига вода-газ хорошо известны из уровня техники и описываться не будут. Для мак-

симизации превращения CO, содержащегося в потоке T4 отходящего газа производящей чугуна установки (учитывая, что он уже содержит H<sub>2</sub>O), конвертер 32 может питаться потоком S2 пара, происходящим из источника 34 вырабатываемого из зеленой энергии пара.

Можно условно принять, что богатый водородом выходной поток конвертера сдвига вода-газ является потоком "продукта", в то время как богатый CO<sub>2</sub> поток может называться "хвостовым газом". Богатый CO<sub>2</sub> поток является хвостовым газом конвертера 32. Однако в контексте изобретения богатый CO<sub>2</sub> поток не выбрасывают, а перерабатывают в установках, а именно в установке прямого восстановления.

Два выходных потока конвертера 32, то есть богатый H<sub>2</sub> поток и богатый CO<sub>2</sub> поток, подают в установку 36 метанизации. Установка метанизации выполнена для выработки газового потока NG1, имеющего качество и содержание метана, сравнимые с природным газом. В установке метанизации происходит следующая реакция:



Выработанный газовый поток NG1 имеет качество и содержание метана, которые зависят от входного потока. Однако при некоторых условиях он подобен ископаемому природному газу и поэтому может называться природным газом, биогазом или возобновляемым природным газом RNG. Предпочтительно, поток природного газа содержит по меньшей мере 65%, предпочтительно более 75, 80 или 85 об.% CH<sub>4</sub>.

Другим выходным продуктом установки 36 является поток S5, который, предпочтительно, подают к ячейке твердооксидного электролизера 38 (SOEC). Установка 38 SOEC выполнена для преобразования H<sub>2</sub>O в H<sub>2</sub>, удаляя избыток O<sub>2</sub> (который может быть использован в другом месте).

Факультативно, установка 38 SOEC может принимать дополнительный зеленый поток S3 пара из источника 34 для увеличения производства метана.

Как известно из уровня техники, SOEC имеет конструкцию твердооксидной топливной ячейки, состоящей из топливного электрода (катода), кислородного электрода (анода) и твердооксидного электролита. Пар подают вдоль катодной стороны ячейки электролизера. Когда прикладывается напряжение, пар восстанавливается на покрытой катализатором поверхности раздела катод-электролит и восстанавливается с образованием чистого H<sub>2</sub> и ионов кислорода. Затем газообразный водород остается на катодной стороне и собирается на выходе в качестве водородного топлива, в то время как ионы кислорода проводятся через твердый и газонепроницаемый электролит. На поверхности раздела электролит-анод ионы кислорода окисляются с образованием чистого газообразного кислорода, которые собираются на поверхности анода. SOEC работает при высокой температуре, обычно от 500 до 850°C.

Произведенный посредством установки 38 SOEC поток H<sub>2</sub> подают в установку 36 метанизации.

Поток NG1 биогаза, произведенный установкой 36 метанизации, направляют к установке 12 DR для переработки. Поток NG1 биогаза может быть использован для целей нагрева и/или для металлургических целей, то есть в качестве восстановительного агента. Таким образом, поток NG1 биогаза может быть частью потока нагревающего газа и/или частью потока восстановительного газа, это значит, что он может быть смешан с другими газами для любой из этих целей.

В вышеупомянутом случае, когда установка 12 включает в себя шахтную печь, реформер и систему рекуперации тепла, тогда типичным образом большую часть потока NG1 добавляют к газу, рециркулируемому в установке 12. Это имеет металлургическую цель. Действительно, поток NG1 вводят в трубопровод рециркуляции, который рециркулирует печной газ через систему рекуперации тепла и реформер. В реформере метан реагирует с диоксидом углерода и водяным паром с образованием монооксида углерода и водорода (сухой и паровой процесс реформинга являются только примером). Другие части NG1 используют в качестве топлива (для поддержки реакций реформинга, требуемых процессом DR), а также для прямого ввода в шахту установки 12 для поддержки науглероживания продукта D4 и оптимизации процесса.

Отходящий газ (дымовой газ сжигания, получающийся от сжигания для поддержки процесса реформинга) установки 12 DR направляют к 40 для выпуска в атмосферу.

С учетом устройства настоящей металлургической установки с источником биоугля и различных обработок газа, выбросы потока F1 отходящего газа квалифицируются как зеленые или нейтральные.

Системы рекуперации тепла в установке 12 делают возможным выработку зеленого потока S4 пара, который направляется к источнику 34 для дальнейшего использования.

На фиг. 2 показан второй вариант осуществления металлургической установки 110, которая отличается от предшествующего варианта осуществления тем, что установка 12 DR не эксплуатируется на потоке биогаза (CH<sub>4</sub>), а основана на сингазе. Ее главное оборудование включает в себя (без ограничения) вертикальную шахту (с входом в верхней части и выходом в нижней части), нагреватель и установку удаления CO<sub>2</sub> (не показано).

Подобно первому варианту осуществления, биоуголь производят в установке 16 пиролиза и используют для производства передельного чугуна в производящем чугуна устройстве 14. Отходящий газ из производящей чугуна установки 14 обрабатывают в факультативной очищающей установке 28 и затем в установке 32 обогащения водородом.

Однако здесь установка 36 метанизации исключается.

Установка 32 обогащения водорода вырабатывает богатый водородом поток НУ1, направляемый напрямую к установке 12 прямого восстановления.

Вырабатываемый установкой 12 обогащения водородом богатый CO<sub>2</sub> поток направляют к установке 38 SOEC. В этом случае установку 38 SOEC эксплуатируют в режиме ко-электролиза, в котором CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O преобразуются в CO и H<sub>2</sub>, и кислород удаляется.

Выходным продуктом установки 38 SOEC в этой конфигурации является сингаз, поток SG1, состоящий главным образом из CO и H<sub>2</sub>. Отношение H<sub>2</sub> к CO в потоке SG1 сингаза может быть между 2 и 4, например, примерно 3. В вариантах осуществления (не показаны) установка 12 может быть оснащена системой удаления CO<sub>2</sub>, и удаленный таким образом CO<sub>2</sub> может быть отправлен к установке 38 SOEC для использования в качестве дополнительного входящего потока.

Представленная ниже табл. 2 приводит в качестве примера состав разных газовых потоков для варианта осуществления согласно фиг. 2. Можно отметить, что этот пример соответствует ситуации, когда очищающая установка 28 является неактивной или исклученной, то есть вырабатываемый производящей чугуна установкой 14 азот остается в отходящем газе установки 32 обогащения водородом.

В зависимости от содержания N<sub>2</sub> в потоке Т3/Т4 можно предпринять следующие действия:

- 1) согласиться с высоким содержанием N<sub>2</sub> в потоке Т4 (и, следовательно, в потоке НУ1), чтобы сделать основным использование НУ1 для целей нагревания в установке 12 DR, или
- 2) удалить требуемое количество N<sub>2</sub> из Т3 и, следовательно, сделать объединенным использование НУ1 и SG1 как для целей нагревания, так и целей восстановления в установке 12 DR.

Таблица 2

## Материальные потоки конфигурации с Synlink для сингаза DRI

Передельный чугун (Т2) Поток 1 тонна			Пар из установки DR* (S4) Поток 626,5 нм <sup>3</sup>			CO <sub>2</sub> из WGS (C1) Поток 590,5 нм <sup>3</sup>		
Состав	94,64	Fe % мас.	Пар к WGS** (S2) Поток 340 нм <sup>3</sup>			Состав	95	CO <sub>2</sub> % об.
	3,50	C % мас.					5	N <sub>2</sub> % об.
Порошок железной руды (Т1) Поток 1,433 тонн			Пар к SOEC*** (S3) Поток 1652,851 нм <sup>3</sup>			H <sub>2</sub> из WGS (НУ1) Поток 1749,5 нм <sup>3</sup>		
Состав	65	Fe % мас.	Отходящий газ (Т3) Поток 2000 нм <sup>3</sup>			Состав	29,72	H <sub>2</sub> % об.
	30	O % мас.					5,66	CO <sub>2</sub> % об.
Порошок из DR (D3) Поток 0,067 тонн			Сингаз из SOEC (SG1) Поток 2243,4 нм <sup>3</sup>			64,62 N <sub>2</sub> % об.		
Состав	95,5	Fe % мас.				Состав	24	CO % об.
	3,5	C % мас.	9	CO <sub>2</sub> % об.	5,00		CO <sub>2</sub> % об.	
	1	O % мас.	2	H <sub>2</sub> % об.	58,94		H <sub>2</sub> % об.	
Железная руда (P1) Поток 2,830 тонн			Отходящий газ к WGS (Т4) Поток 2000 нм <sup>3</sup>			2,95 H <sub>2</sub> O % об.		
Состав	70	Fe % мас.	Состав			1,32 N <sub>2</sub> % об.		
	30	O % мас.				Дымовой газ (F1) Поток 3486,3 нм <sup>3</sup>		
НВИ**** (D4) Поток 2,096 тонн			Состав			Состав		
Состав	95,5	Fe % мас.						
	3,5	C % мас.	9,0	CO <sub>2</sub> % об.	22	H <sub>2</sub> O % об.		
	1	O % мас.	2,0	H <sub>2</sub> % об.	Состав			
			7,0	H <sub>2</sub> O % об.				
Суммарная потребность в паре (S1) Поток 1992,851 нм <sup>3</sup>			Удаленный N <sub>2</sub> (Т5) Поток 0 нм <sup>3</sup>			15 CO <sub>2</sub> % об.		
			Состав			100 N <sub>2</sub> % об.		

\* Прямое восстановление.

\*\* Сдвиг вода-газ.

\*\*\* Ячейка твердооксидного электролизера.

\*\*\*\* Горячебрикетированное железо.

В примере согласно табл. 2 N<sub>2</sub> в потоке Т3 не удален: большая часть потока НУ1 (примерно 93%) направляют к установке 12 DR для целей нагрева. Газовый поток SG1 и оставшуюся часть потока НУ1

подаются, таким образом, напрямую к установке 12 DR и используют в ней в качестве восстановительных газов.

Реформер не требуется.

Можно отметить, что в установке 12 могут быть использованы альтернативные источники тепла (электричества), что может изменить показанный в примерах баланс газов.

На фиг. 3 показан другой пример осуществления металлургической установки 210, который является вариантом примера осуществления согласно фиг. 1. По сравнению с фиг. 1 установка 210 включает в себя несколько опций, которые могут быть реализованы в одиночку или в комбинации:

Опция А). Часть DRI/HBI/HDRI (поток D5), выработанного в установке прямого восстановления, может быть отправлена к производящей чугуна установке в качестве входного сырья.

Опция Б). Часть DRI/HBI/HDRI (поток D5), выработанного в установке прямого восстановления, может быть отправлена в качестве входного сырья к основанной на зеленой энергии производящей сталь установке (например, BOF (конвертерная печь с подачей кислорода), EAF, SAF, другим).

Опция В). Часть покидающего установку DR дымового газа F1 и/или часть рециркулируемого в установку 12 DR газа, обозначенного через F2, может быть направлена к установке разделения  $H_2O/CO_2/N_2$ , и результирующий поток - поток S6 - направляют к установке 38 SOEC, в то время как  $CO_2$  - обозначенный через F3 - направляют к установке 36 метанизации. Если  $N_2$  также отделен, то он может быть переработан. Таким образом установка 12 DR может эксплуатироваться также если производящая чугуна установка 14 не работает (требуя лишь минимизированного внешнего топлива/загрузок). В зависимости от общего запроса установкой 12 топлива/газа могут регулироваться соответствующие процентные соотношения рециркулированного потока F2 и потока T3.

На фиг. 4 показан другой пример осуществления металлургической установки 310, который является вариантом примера осуществления согласно фиг. 2. По сравнению с фиг. 2 установка 310 включает в себя несколько опций, которые могут быть реализованы в одиночку или в комбинации:

Опция А). Часть DRI/HBI/HDRI (поток D5) из установки 12 DR направляют к производящей чугуна установке 14 в качестве входного сырья.

Опция Б). Часть DRI/HBI/HDRI (поток D5) из установки 12 DR направляют к основанной на зеленой энергии производящей сталь установке 44 в качестве входного сырья.

Опция В). Часть покидающая установку 12 DR дымового газа и/или часть рециркулируемого в установку 12 газа, обозначенного как поток F2, направляют к установке 38 SOEC для его ко-электролиза (может потребоваться стадия отделения  $N_2$ ). Таким образом, установка 12 DR может эксплуатироваться также если производящая чугуна установка 14 не работает (требуя лишь минимизированного внешнего топлива/загрузок). В зависимости от общего запроса установкой 12 топлива/газа могут регулироваться соответствующие процентные соотношения рециркулированного потока F2 и потока T3.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации металлургической установки для производства железных продуктов, включающей в себя установку (12) прямого восстановления и производящую чугуна установку (14), в котором осуществляют:

подачу шихты железной руды в установку прямого восстановления для производства железных продуктов прямого восстановления,

эксплуатацию производящей чугуна установки для производства передельного чугуна, причем в качестве восстановительного агента в производящую чугуна установку вводят биоуголь, и посредством этого производящая чугуна установка вырабатывает содержащий CO и  $CO_2$  отходящий газ,

обработку отходящего газа из производящей чугуна установки в установке (32) обогащения водородом для образования богатого водородом потока и богатого  $CO_2$  потока,

причем богатый водородом поток непосредственно или опосредованно подают к установке прямого восстановления, а

богатый  $CO_2$  поток по меньшей мере частично конвертируют для переработки в установке прямого восстановления, прежде всего конвертируют в сингаз или природный газ.

2. Способ по п.1, причем пыль, мелочь и другие остатки из установки прямого восстановления подают к производящей чугуна установке в качестве части подлежащей плавлению в ней шихты.

3. Способ по п.1 или 2, причем по меньшей мере часть прямовосстановленного продукта из установки прямого восстановления подают к производящей чугуна установке в качестве части подлежащей плавлению в ней шихты, причем прямовосстановленные продукты включают в себя губчатое железо и/или кусковые прямовосстановленные продукты.

4. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем богатый водородом поток направляют к установке прямого восстановления в качестве части потока восстановительного газа.

5. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем богатый водородом поток направляют к установке прямого восстановления в качестве части потока газообразного топлива для целей нагревания.

6. Способ по п.4 или 5, причем богатый  $CO_2$  поток подают к установке электролиза воды, дополни-

тельно обеспечиваемого потоком пара, для образования потока сингаза, который поставляют к установке прямого восстановления.

7. Способ по одному из пп.1-3, причем богатый водородом поток и богатый  $\text{CO}_2$  поток направляют от установки обогащения водородом к установке (36) метанизации для образования потока метана, который направляют к установке прямого восстановления.

8. Способ по п.7, причем по меньшей мере часть потока метана используют в установке прямого восстановления в качестве части потока восстановительного газа.

9. Способ по п.7 или 8, причем установка (12) прямого восстановления включает в себя шахтную печь и реактор реформинга, и причем по меньшей мере часть потока метана подают к реактору реформинга для выработки восстановительного газа, предпочтительно, главным образом водорода и монооксида углерода, направляемого к шахтной печи для использования в качестве части потока восстановительного газа.

10. Способ по п.7, 8 или 9, причем по меньшей мере часть потока метана используют в качестве части потока газообразного топлива.

11. Способ по одному из пп.7-10, причем установка (38) электролиза воды связана с установкой метанизации, причем выходной поток пара из установки метанизации подают к установке электролиза для образования вспомогательного потока водорода, который возвращают в установку метанизации.

12. Способ по п.11, причем в установку электролиза воды вводят поток пара из зеленой энергии.

13. Способ по п.11 или 12, причем часть отходящего газа из установки прямого восстановления рециркулируют в установку метанизации через установку удаления пара, причем удаленный пар подают к установке электролиза воды.

14. Способ по п.13, причем работу производящей чугуна установки регулируют на основании количества рециркулированного отходящего газа.

15. Способ по п.14, причем работу производящей чугуна установки (14) замедляют или прекращают после достижения устойчивого состояния работы в установке прямого восстановления.

16. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем поток отходящего газа из производящей чугуна установки обрабатывают в установке (28) удаления азота перед направлением к установке обогащения водородом.

17. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем установка (32) обогащения водородом включает в себя реактор сдвига вода-газ.

18. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем шихта производящей чугуна установки включает в себя по существу железнорудную мелочь.

19. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем в установку обогащения водородом вводят пар из зеленой энергии.

20. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем по меньшей мере часть отходящего газа из установки прямого восстановления выпускают в атмосферу.

21. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем биоуголь получают в установке (16) пиролиза биомассы из материала биомассы.

22. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем часть удаленного в установке прямого восстановления  $\text{CO}_2$  направляют к установке электролиза воды и смешивают с паром для получения сингаза.

23. Способ по одному из предшествующих пунктов, причем установка прямого восстановления оснащена вырабатывающей пар системой рекуперации тепла.

24. Металлургическая установка для производства железных продуктов для осуществления способа по любому из предшествующих пунктов, включающая в себя:

установку (12) прямого восстановления, выполненную для производства прямовосстановленных продуктов из загрузки железной руды,

установку (16) пиролиза биомассы, выполненную для выработки биоугля из материала биомассы,

производящую чугуна установку (14), выполненную для производства передельного чугуна, причем производящая чугуна установка использует биоуголь в качестве восстановительного материала и выработки отходящего газа,

установку (32) обогащения водородом, выполненную для приема отходящего газа производящей чугуна установки и выработки богатого водородом потока и богатого  $\text{CO}_2$  потока, и

средство для конвертирования  $\text{CO}_2$  в поток газа, который перерабатывается в установке прямого восстановления,

причем богатый водородом поток непосредственно или опосредованно перерабатывается в установке прямого восстановления.

25. Металлургическая установка по п.24, включающая в себя установку метанизации, выполненную для приема богатого водородом потока и богатого  $\text{CO}_2$  потока из установки обогащения водородом и выработки из них потока биогаза, прежде всего потока метана, который направляют к установке прямого восстановления.

26. Металлургическая установка по п.24 или 25, включающая в себя установку электролиза воды,

связанную с установкой метанизации, причем выходной поток пара из установки метанизации подают к установке электролиза для образования вспомогательного потока водорода, который возвращают к установке метанизации.

27. Metallургическая установка по п.24, включающая в себя установку (38) электролиза воды, связанную с установкой обогащения водородом, причем установка электролиза воды выполнена для приема богатого  $\text{CO}_2$  потока, а также потока пара, и образования потока сингаза, который подают к установке прямого восстановления.

28. Metallургическая установка по одному из пп.24-27, причем установка прямого восстановления включает в себя шахтную печь, реформер и систему рекуперации тепла.

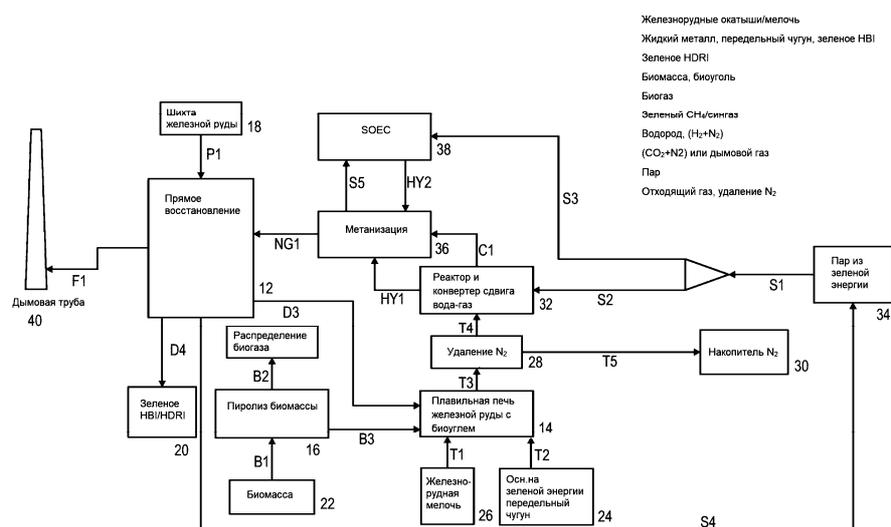
29. Metallургическая установка по одному из пп.24-27, причем установка прямого восстановления включает в себя шахтную печь, нагреватель и установку удаления  $\text{CO}_2$ .

30. Metallургическая установка по одному из пп.24-29, причем установка обогащения водородом включает в себя реактор сдвига вода-газ.

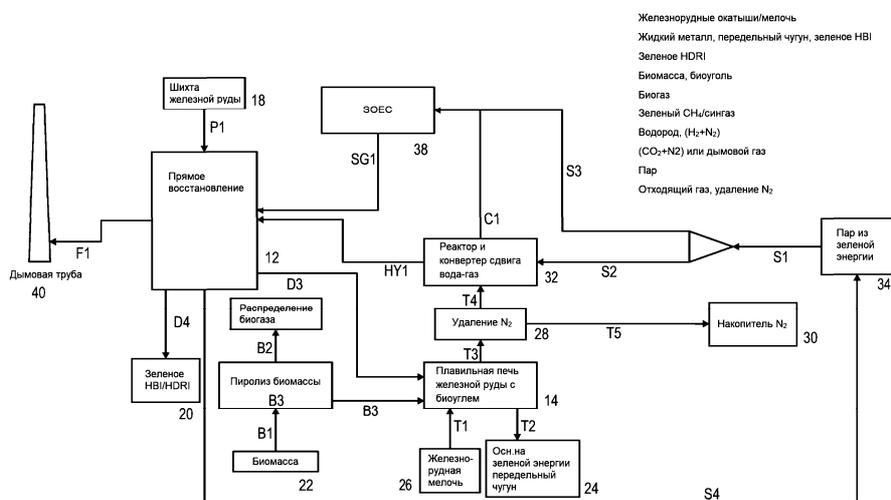
31. Metallургическая установка по одному из пп.24-30, причем установка (28) удаления азота расположена на потоке отходящего газа из производящей чугуна установки к установке обогащения водородом или на потоке на выходе из установки (32) обогащения водородом.

32. Metallургическая установка по одному из пп.24-31, причем установка (32) обогащения водородом соединена напрямую с установкой прямого восстановления для подачи по меньшей мере части богатого водородом потока.

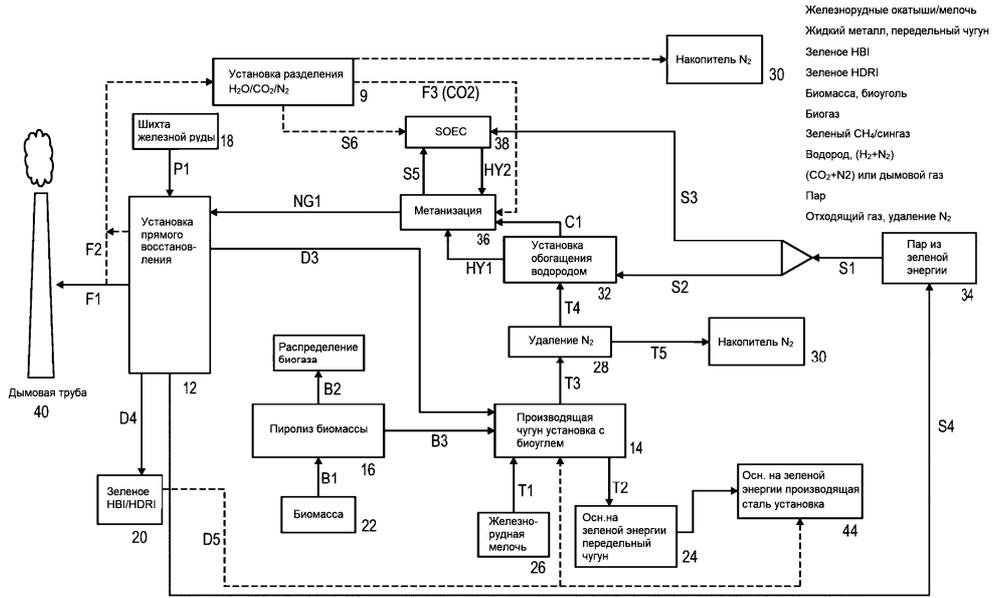
33. Metallургическая установка по одному из пп.24-32, включающая в себя средства для транспортировки пыли, мелочи и других остатков из установки прямого восстановления к производящей чугуна установке в качестве части подлежащей плавлению в ней шихты.



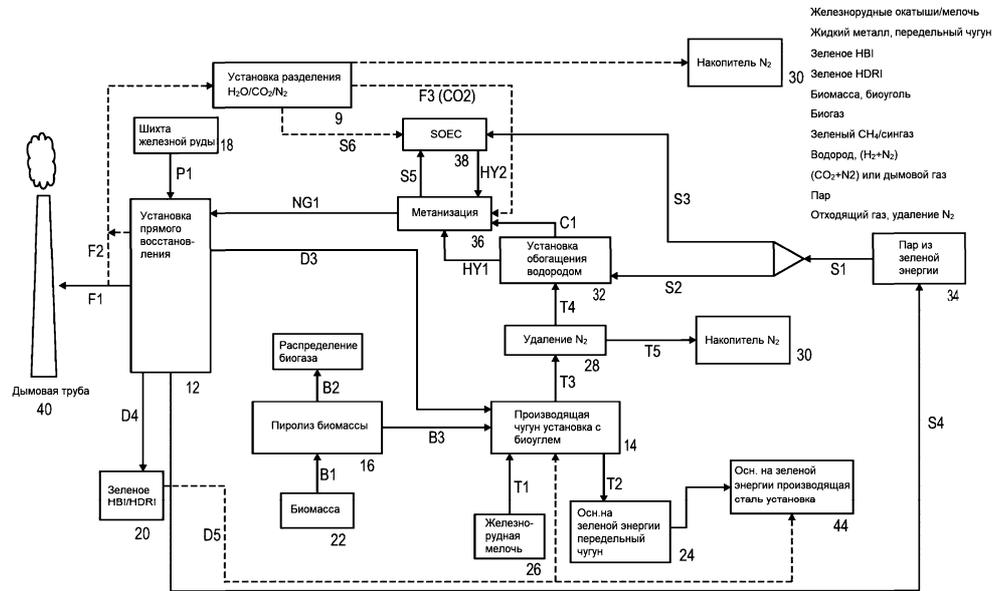
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

