

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043957**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.07.10**

(21) Номер заявки  
**202293424**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.06.23**

(51) Int. Cl. *A62D 3/36* (2007.01)  
*B01J 10/00* (2006.01)  
*C02F 1/66* (2006.01)  
*C21B 13/00* (2006.01)

---

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО ГАЗА ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ (ВАРИАНТЫ)**

---

(43) **2023.02.16**

(86) **PCT/US2020/039042**

(87) **WO 2021/262145 2021.12.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**МИДРЭКС ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.**  
**(US)**

(56) US-A-3899294  
US-B2-9108869  
US-A1-20150329930  
US-A-4698219

(72) Изобретатель:  
**Финнуче Файсал, Освальд Дэвид (US)**

(74) Представитель:  
**Кузнецова С.А. (RU)**

---

(57) Способ и система для эксплуатации компрессора уплотнительного газа, используемого в процессе прямого восстановления, включающие осуществление мониторинга уровня pH потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень pH потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где стадию мониторинга осуществляют в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа; и регулирование уровня pH потока воды для поддержания уровня pH потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга. Способ включает поддержание уровня pH потока воды выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10 и поддержание уровня pH потока воды ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5.

**B1**

**043957**

**043957**

**B1**

### Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к системам и способам производства железа прямого восстановления (DRI) или т.п. В частности, настоящее изобретение относится к системам и способам оптимизации у плотнительного газа для процесса прямого восстановления (DR).

### Предпосылки изобретения

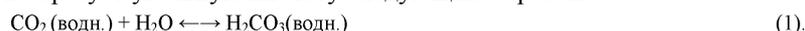
Важным компонентом процесса DR, такого как процесс MIDREX DRI, является система уплотнительного газа и компрессор уплотнительного газа в качестве части системы уплотнительного газа. Уплотнительный газ, полученный из отработанного дымового газа установки риформинга, используется для защиты установки от взрывоопасных газов и позволяет процессу DR работать эффективно, поскольку атмосферный воздух исключен из процесса восстановления. Оптимизация работы компрессора уплотнительного газа и минимизация связанных с этим проблем позволяет достичь оптимальной производительности и качества продукции.

Общая проблема управления компрессором уплотнительного газа заключается в том, что на входящий поток питательной воды влияет состав дымового газа установки риформинга. Как правило, добавочная вода, используемая в компрессоре уплотнительного газа, представляет собой умягченную, чистую промышленную воду или воду обратного осмоса (RO). Сокращенный анализ подпитки для такой воды приведен в табл. 1 ниже.

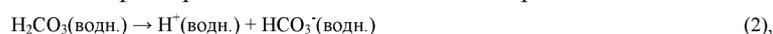
Таблица 1. Сокращенные химические характеристики воды

Параметр	Единица	Сырая вода	Мягкая вода	Вода RO
pH	-	7,0–9,0	8,0–9,0	5,0–7,0
Проводимость	мкСм/м	462	-	-
Общее количество суспендированных твердых веществ (TSS)	мг/л	1	< 1	< 1
Общее количество растворенных твердых веществ (TDS)	мг/л	320	-	< 25
Масло и смазка	мг/л	1	Нет данных	Нет данных
Общая жесткость	мг/л CaCO <sub>3</sub>	160	< 20	< 10
Жесткость по кальцию	мг/л CaCO <sub>3</sub>	< 35	< 10	< 5
Жесткость по магнию	мг/л CaCO <sub>3</sub>	< 50	< 10	< 5
Щелочность по метиловому оранжевому (ТАС)	мг/л CaCO <sub>3</sub>	35	Устанавливается поставщиком в зависимости от вида обработки	< 5

Независимо от источника воды, CO<sub>2</sub> в дымовом газе установки риформинга смешивается с потоком добавочной воды и образует угольную кислоту следующим образом:



Это слабая кислота, поэтому часть ее диссоциирует с образованием ионов H<sup>+</sup> (см. ниже), поэтому входящий поток воды в компрессор является кислым. Значение pH может составлять ниже 4,5.



При таком низком pH воды скорость коррозии компонентов из углеродистой стали и чугуна становится большой. Без химической корректировки воды срок службы оборудования значительно сокращается.

Вторичной проблемой при использовании чистой промышленной воды (и, в меньшей степени, при использовании умягченной воды) является возможное образование накипи, которая возникает в результате следующей реакции:



В этой реакции, по мере выделения теплоты сжатия, осаждение карбоната кальция увеличивается, поскольку растворимость карбоната кальция обратно пропорциональна температуре. В зависимости от химического состава воды (т. е. от содержания ионов кальция) и химического вещества для регулирования pH, потенциал образования накипи может варьироваться, но может быть значительным.

Оба этих вопроса являются постоянными проблемами на установках DRI, использующих лопастные компрессоры, поскольку существующие способы обработки и системы мониторинга не полностью устранили эти проблемы. В рамках проектирования традиционных установок DRI не было разработано комплексного решения этих проблем. Как правило, лицензиаты и поставщики воды для обработки предлагают определенную степень избежания проблем, о которых речь пойдет ниже, но при текущем состоянии оборудования и управления процессами не существует комплексного решения вышеуказанных ре-

акций. Из-за этих ограничений коррозия и накипь могут привести к следующему:

- 1) снижение производства,
- 2) чрезмерные требования к техническому обслуживанию и ремонту компрессора или лопастных компонентов, системы мокрого уплотнительного газа и осушителя уплотнительного газа,
- 3) осаждение, происходящее ниже по потоку, препятствующее повышению производительности,
- 4) потеря качества продукции: повторное окисление металлизированного продукта, и/или
- 5) косвенно возникновение крупных кластеров в печи, увеличение времени простоя для их удаления.

Щелочные питательные растворы обеспечивают желаемый результат регулирования pH, но приводят к чрезмерному образованию накипи и коррозии при недостаточной подаче, что контролируется дозирующим насосом и необязательным таймером. Реального способа измерения не существует, и практическим результатом является нестабильная работа и постоянные проверки на местах, чтобы убедиться, что система работает правильно.

Растворы на основе ингибиторов коррозии обеспечивают требуемый результат снижения коррозии компрессора уплотнительного газа, но обеспечивают непостоянную подачу химических веществ или эффективность, поскольку значение pH часто является неправильным, что опять же контролируется дозирующим насосом и необязательным таймером. Образцы материала обеспечивают запаздывающие индикаторы, а зонд Corrater - индикатор реального времени, и практическим результатом является отсутствие принятия решений в реальном времени и потенциальная ошибка зонда коррозии.

Альтернативные решения по металлургическим материалам лопастей (нержавеющая сталь и никель) позволяют улучшить характеристики лопастей и увеличить срок службы оборудования, но являются дорогостоящими. Срок службы лопастей увеличивается, но коррозионная вода по-прежнему воздействует на используемые трубопроводы.

Эти предпосылки обеспечивают общий контекст и среду, в которой могут быть реализованы концепции настоящего изобретения. Специалистам в данной области техники будет легко понять, что эти концепции могут применяться и в других контекстах и средах. Таким образом, эти предпосылки носят исключительно иллюстративный характер.

#### **Сущность изобретения**

Настоящее изобретение предусматривает системы и способы, включающие контрольные измерения и регулирование подачи химикатов для обеспечения критических параметров, позволяющих управлять системой технологической воды компрессора уплотнительного газа (SGC). При этом можно контролировать критические переменные системы и преодолевать текущие ограничения, связанные с существующим оборудованием/способами обработки. При достижении этих результатов повышается технологическая надежность SGC.

Ниже приводится обзор параметров, контролируемых в настоящем изобретении:

- 1) pH поступающей воды контролируется в требуемом диапазоне pH 7,8-9,0 непрерывно с помощью зондов и логической схемы непосредственной передачи данных от распределенной системы управления (DCS) и насосов подачи химикатов,
- 2) pH отработанной воды контролируется с обеспечением того, что диапазон pH на выходе находится в диапазоне, который минимизирует образование накипи и коррозию и обеспечивает оптимальную эффективность химических веществ, ингибирующих коррозию и образование накипи,
- 3) химическая подпитка не зависит от одного семейства химических веществ, но включает пленкообразующую, парофазную и электрохимическую обработку для оптимизации контроля коррозии в масштабах всей системы как в водной, так и в газопаровой областях процесса,
- 4) диапазоны эффективных показателей производительности (например, pH и скорость коррозии) устанавливаются в DCS, и регулирование управления подачей химических веществ направляется этими средними заданными значениями, так что контролируются верхние и нижние показатели, и
- 5) незначительные модификации дренажа технологической воды выполняются для обеспечения эффективного мониторинга воды.

В одном иллюстративном варианте осуществления способ эксплуатации компрессора уплотнительного газа, используемого в процессе прямого восстановления, включает осуществление мониторинга уровня pH потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень pH потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где стадию мониторинга осуществляют в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора; и регулирование уровня pH потока воды для поддержания уровня pH потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга. Способ включает поддержание уровня pH потока воды выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10. Способ включает поддержание уровня pH потока воды ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5. Регулирование уровня pH потока воды включает введение химического вещества, регулирующего уровень pH, в поток воды на основании получаемых данных со стадии мониторинга. Способ дополнительно включает осуществление мониторинга коррозионной активности потока воды,

используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на коррозионную активность потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, и регулирование коррозионной активности потока воды для поддержания коррозионной активности потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга. Способ также включает поддержание коррозионной активности потока воды в диапазоне менее 2,0 мила в год (милов в год).

В другом иллюстративном варианте осуществления система эксплуатации компрессора уплотнительного газа, используемого в процессе прямого восстановления, включает распределенную систему управления; один или более рН-зондов, соединенных с распределенной системой управления и выполненных с возможностью мониторинга уровня рН потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень рН потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где мониторинг осуществляют в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора; и химический инжектор для регулирования рН, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования уровня рН потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных от одного или более рН-зондов в направлении распределенной системы управления. Система поддерживает уровень рН потока воды выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10. Система поддерживает уровень рН потока воды ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5. Система дополнительно включает зонд Corrater, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью осуществления мониторинга коррозионной активности потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на коррозионную активность потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, и химический инжектор для контроля коррозионной активности, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования коррозионной активности потока воды для поддержания коррозионной активности потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга. Кроме того, система поддерживает коррозионную активность потока воды в диапазоне менее 2,0 мила в год. Химический инжектор для контроля коррозионной активности выполнен с возможностью осуществления доставки в поток воды одной или более из пленкообразующей, парофазной и электрохимической обработки. Необязательно, один из одного или более рН-зондов расположен вместе с зондом Corrater.

В еще одном иллюстративном варианте осуществления система прямого восстановления включает печь; компрессор уплотнительного газа, работающий для доставки уплотнительного газа в печь; установку риформинга, выполненную с возможностью осуществления доставки потока дымового газа установки риформинга в компрессор уплотнительного газа; распределенную систему управления; один или более рН-зондов, соединенных с распределенной системой управления и выполненных с возможностью мониторинга уровня рН потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень рН потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где мониторинг осуществляется в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора; и химический инжектор для регулирования рН, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования уровня рН потока воды для поддержания уровня рН потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных от одного или более рН-зондов в направлении распределенной системы управления. Система прямого восстановления поддерживает уровень рН потока воды выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10. Система прямого восстановления поддерживает уровень рН потока воды ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5. Система прямого восстановления дополнительно включает: зонд Corrater, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью осуществления мониторинга коррозионной активности потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на коррозионную активность потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, и химический инжектор для контроля коррозионной активности, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования коррозионной активности потока воды для поддержания коррозионной активности потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга. Кроме того, система прямого восстановления поддерживает коррозионную активность потока воды в диапазоне менее 2,0 мила в год. Химический инжектор для контроля коррозионной активности выполнен с возможностью осуществления доставки в поток воды одной или более из пленкообразующей, парофазной и электрохимической обработки. Необязательно, один из одного или более рН-зондов расположен вместе с зондом Corrater.

#### **Краткое описание графических материалов**

Настоящее изобретение представлено и описано в данном документе со ссылкой на различные графические материалы, на которых подобные номера ссылок используют для обозначения подобных ком-

понентов системы/стадий способов, как полагается, и на которых

на фиг. 1 представлена схема, иллюстрирующая один иллюстративный вариант осуществления системы оптимизации уплотнительного газа по настоящему изобретению;

на фиг. 2 представлена схематическая диаграмма, иллюстрирующая другой иллюстративный вариант осуществления системы оптимизации уплотнительного газа по настоящему изобретению; и

на фиг. 3 представлена схема, иллюстрирующая дополнительный иллюстративный вариант осуществления системы оптимизации уплотнительного газа по настоящему изобретению.

#### Описание вариантов осуществления

Центральное место в процессе DRI занимает система уплотнительного газа. Система уплотнительного газа защищает персонал и оборудование от токсичных газов и возможных пожаров и взрывов. Уплотнительный газ используется для исключения воспламеняющихся восстановительных газов ( $H_2$  и  $CO$ ) из атмосферы с обеспечением тем самым реакции преобразования железной руды в металлическое железо и защиты окружающей среды за пределами соответствующей печи. Кроме того, уплотнительный газ предотвращает попадание в печь атмосферы, которая препятствовала бы процессу восстановления металла.

Источником уплотнительного газа в основном является дымовой газ из установки риформинга, который включает побочные продукты сгорания. Состав дымового газа обычно составляет

$$CO_2 - 15-18\% \quad (6),$$

$$H_2O - 20-22\% \quad (7),$$

$$N_2 - 60-65\% \quad (8),$$

$$O_2 - < 2\% \quad (9).$$

Другие инертные газы могут быть замещены, например, большим процентным содержанием азота, но дымовой газ обычно отводится в атмосферу и поэтому является доступным и недорогим источником для процесса уплотнения.

Со ссылкой далее конкретно на фиг. 1, в одном иллюстративном варианте осуществления системы 10 уплотнительного газа по настоящему изобретению, отработанный дымовой газ установки риформинга и необязательно кондиционер уплотнительного газа охлаждаются с  $\sim 1000$  до  $40^\circ C$  в охладителе 12 уплотнительного газа и затем поступают в компрессор 14 уплотнительного газа, за которым следует компенсатор пульсации 16. После компенсатора пульсации 16 уплотнительный газ проходит через доохладитель 18 уплотнительного газа, после чего разделяется на три потока: мокрый уплотнительный газ, сухой уплотнительный газ и уплотнительный газ из нижней части. Сухой уплотнительный газ отличается от мокрого уплотнительного газа тем, что сухой уплотнительный газ проходит через осушитель 20 уплотнительного газа (необязательно с обходным путем), а нижний уплотнительный газ дополнительно проходит через компрессор 22 уплотнительного газа из нижней части и доохладитель 24 уплотнительного газа из нижней части. Вода, подаваемая в компрессор 14 уплотнительного газа, включает холодную, чистую технологическую воду и добавочную воду (которая может быть распылена после охладителя 12 уплотнительного газа).

Общая проблема управления компрессором уплотнительного газа заключается в том, что на входящий поток питательной воды влияет состав дымового газа установки риформинга. Как правило, добавочная вода, используемая в компрессоре уплотнительного газа, представляет собой умягченную, чистую промышленную воду или воду RO. Типичный анализ добавки для этой воды приведен в табл. 2 ниже.

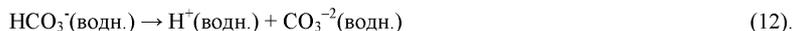
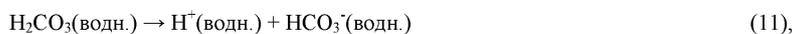
Таблица 2. Полные химические характеристики воды

Параметр	Единица	Сырая вода	Мягкая вода	Вода RO
pH	-	7,0–9,0	8,0–9,0	5,0–7,0
Проводимость	мкСм/м	462	-	-
Общее количество суспендированных твердых веществ (TSS)	мг/л	1	< 1	< 1
Общее количество растворенных твердых веществ (TDS)	мг/л	320	-	< 25
Масло и смазка	мг/л	1	Нет данных	Нет данных
Общая жесткость	мг/л CaCO <sub>3</sub>	160	< 20	< 10
Жесткость по кальцию	мг/л CaCO <sub>3</sub>	< 35	< 10	< 5
Жесткость по магнию	мг/л CaCO <sub>3</sub>	< 50	< 10	< 5
Щелочность по метилловому оранжевому (ТАС)	мг/л CaCO <sub>3</sub>	35	Устанавливается поставщиком в зависимости от вида обработки	< 5
Хлориды	мг/л Cl <sup>-</sup>	60	< 60	< 5
Сульфаты	мг/л SO <sub>4</sub>	130	< 100	< 5
Нитраты	мг/л NO <sub>3</sub>	5	< 5	< 5
Натрий и калий	мг/л Na	43	113/ < 3	< 5 / < 2
Общее железо	мг/л Fe	0,1	< 0,1	< 0,1
Марганец	мг/л Fe	0,05	-	-
Диоксид кремния	мг/л SiO <sub>2</sub>	10	Нет данных	Нет данных
Мутность, NTU		< 2	< 2	< 1
ТОС	ppm	2	-	< 5

Независимо от источника добавочной воды, CO<sub>2</sub> в дымовом газе смешивается с потоком добавочной воды и образует угольную кислоту следующим образом:



Это слабая кислота, поэтому ее часть диссоциирует с образованием ионов H<sup>+</sup> (см. ниже), поэтому поток воды, входящий в компрессор 14 уплотнительного газа является кислым. Значение pH может составлять ниже 4,5.



При таком низком pH воды скорость коррозии компонентов из углеродистой стали и чугуна является большой. Без химической корректировки воды срок службы оборудования значительно сокращается.

Вторичной проблемой при использовании чистой промышленной воды (и, в меньшей степени, при использовании умягченной воды) является возможное образование накипи, которая возникает в результате следующей реакции:



В этой реакции, по мере выделения теплоты сжатия, осаждение карбоната кальция увеличивается, поскольку растворимость карбоната кальция обратно пропорциональна температуре. В зависимости от химического состава воды (т.е. от содержания ионов кальция) и химического вещества для регулирования pH, потенциал образования накипи варьируется, но может быть значительным.

Оба этих вопроса являются постоянными проблемами на установках DRI, использующих лопастные компрессоры, поскольку существующие способы обработки и системы мониторинга не полностью устранили эти вышеупомянутые проблемы. В рамках проектирования традиционных установок DRI не было разработано комплексного решения этих проблем. Как правило, лицензиаты и поставщики воды для обработки предлагают определенную степень избежания проблем, о которых речь пойдет ниже, но при текущем состоянии оборудования и управления процессами не существует комплексного решения вышеуказанных реакций. Из-за этих ограничений коррозия и накипь могут привести к следующему:

- 1) снижение производства,
- 2) чрезмерные требования к техническому обслуживанию и ремонту компрессора или лопастных компонентов, системы мокрого уплотнительного газа и осушителя 20 уплотнительного газа,
- 3) осаждение, происходящее ниже по потоку, препятствующее повышению производительности,
- 4) потеря качества продукции: повторное окисление металлизированного продукта, и/или
- 5) косвенно возникновение крупных кластеров в печи, увеличение времени простоя для их удаления.

Буферные питательные растворы обеспечивают желаемый результат регулирования рН вне диапазона, приводящего к коррозии, до значения, составляющего от 7,5 до 9,0, но приводят к чрезмерному образованию накипи и коррозии при недостаточной подаче, что контролируется дозирующим насосом и дополнительным таймером. Чрезмерная подача может вызвать слишком высокий уровень рН (> 10,0) и привести к образованию накипи на лопастях и накоплению щелочи ниже по потоку относительно компрессора 14 уплотнительного газа, а недостаточная подача (рН < 7,0) просто способствует продолжению проблем с коррозией. Ни один реальный способ измерения не доступен в применимой среде, и практическим результатом является нестабильная работа и постоянные проверки на местах, чтобы убедиться, что система работает правильно. В настоящее время нет возможности контролировать рН отработанной воды, что приводит к нестабильной работе, отсутствию данных в реальном времени для принятия решений и необходимости частых проверок системы вручную.

Растворы на основе ингибиторов коррозии обеспечивают требуемый результат снижения коррозии компрессора уплотнительного газа путем обеспечения электрохимической защиты деталей и лопастей компрессора с помощью химических веществ для обработки воды, но обеспечивают непостоянную подачу химических веществ или их эффективность, поскольку значение рН часто является неправильным, что опять же контролируется дозирующим насосом и необязательным таймером. Если контроль рН не работает должным образом, контроль с помощью химических веществ менее эффективен, поскольку используемые химические вещества характеризуются эффективными и неэффективными диапазонами рН. Производительность основана на уровне активных химических веществ в воде, а химические вещества не обеспечивают защиту области ниже по потоку, где газообразные пары переносят влагу, и необходимы пленкообразователи и ингибиторы паровой фазы. Образцы материала обеспечивают запаздывающие индикаторы, а зонд Corrater - индикатор реального времени, и практическим результатом является отсутствие принятия решений в реальном времени и потенциальная ошибка зонда коррозии при возникновении накипи в системе.

Альтернативные решения по металлургическим материалам лопастей (нержавеющая сталь и никель) позволяют улучшить характеристики лопастей и увеличить срок службы оборудования, но являются дорогостоящими. Срок службы лопастей увеличивается, но коррозионная вода по-прежнему воздействует на используемые трубопроводы.

Со ссылкой далее конкретно на фиг. 2, в другом иллюстративном варианте осуществления системы 10 у уплотнительного газа по настоящему изобретению, отработанный дымовой газ из установки риформинга 26, и дожигатель 28, и необязательно кондиционер уплотнительного газа охлаждаются с ~1000 до 40°C в охладителе 12 уплотнительного газа и затем поступают в компрессор 14 уплотнительного газа, за которым следуют компенсаторы пульсации 16. После компенсаторов пульсации 16 уплотнительный газ проходит через доохладитель 18 уплотнительного газа, после чего разделяется на три потока: мокрый уплотнительный газ, сухой уплотнительный газ и уплотнительный газ из нижней части. Сухой уплотнительный газ отличается от мокрого уплотнительного газа тем, что сухой уплотнительный газ проходит через осушитель 20 уплотнительного газа (необязательно с обходным путем), а нижний уплотнительный газ дополнительно проходит через компрессор 22 уплотнительного газа из нижней части и доохладитель 24 уплотнительного газа из нижней части. В данном документе вода, подаваемая в компрессор 14 уплотнительного газа, включает мягкую воду, подаваемую из одного или более смягчителей воды 30, и контролируется измерителем кальция 32. Инжектор 34 ингибитора коррозии гидравлически соединен с потоком мягкой воды и управляется системой 36 DCS, которая находится в связи с инжектором 34 ингибитора коррозии.

Функционально, критическая переменная, которая контролирует коррозионную природу воды, насыщенной газом CO<sub>2</sub> - рН - надежна и эффективна в окружающей среде, которая до этого не существовала. рН-зонд 38 контролирует рН поступающей воды, используемой в SGC 14. С помощью управления DCS можно обеспечить надлежащий уровень впрыска ингибитора коррозии/накипи в поток воды. Диапазон рН на входе показан в табл. 3 ниже, где также указан диапазон, в котором поддерживается процесс.

Таблица 3. рН потока воды на входе

рН на входе без обработки	рН на входе с обработкой	Нижний допустимый предел	Верхний допустимый предел
4,5–6,0	7,8–9,0	7,5	10,0

Для того, чтобы обеспечить регулирование уровня CO<sub>2</sub> в поступающем дымовом газе в течение всего процесса, используется вторичное устройство 40 мониторинга рН на сливе SGC. рН сброса находится в диапазонах, указанных в табл. 4.

Таблица 4. рН сброса потока воды

рН сброса без обработки	рН сброса с обработкой	Нижний допустимый предел	Верхний допустимый предел
5,5–6,0	8,2–9,0	7,8	9,5

Этот второй зонд 40 встроен в слив сброса компрессора, пропускная способность которого доста-

точна для того, чтобы зонд 40 обеспечивал непрерывный поток отработанной воды, движущейся на протяжении всего процесса. Датчики pH 38, 40 интегрированы в систему DCS 36 таким образом, что можно поддерживать верхний и нижний допустимые диапазоны pH. Контроль pH обеспечивается сигналом DCS на насос 42 подачи химических веществ на основании непрерывного мониторинга.

Методология борьбы с коррозией по настоящему изобретению отличается от существующей практики из-за использования ингибиторов коррозии с несколькими функциональными возможностями. Как показано на фиг. 3, зонд Corrater 45 расположен рядом с pH-зондом 39 одного из устройств 40 мониторинга pH. Соответствующая обработка 34 включает пленкообразующие, парафазные и поверхностно-активные химические вещества, подаваемые в поток воды на входе в SGC 14 вместе со средством 42 регулирования pH. Дозирование химических веществ зависит от источника добавочной воды, и в системе 10 используется зонд Corrater 44 в режиме реального времени на сбросе из SGC 14 для определения скорости коррозии в милах в год. Кроме того, коррозионная стойка 46 со стандартными образцами из стали 1018 или т. п. оценивается каждые 45 дней (с использованием метода испытания ASTM D4778 - 15), например, в качестве избыточного испытания. Применяемые пределы скорости коррозии приведены в табл. 5.

Таблица 5. Скорости коррозии

Скорость коррозии без химической обработки	Скорость коррозии с химической обработкой	Нижний допустимый предел	Верхний допустимый предел
> 20 мил в год	0,1–1,0 мила в год	Нет данных	2,0 мила в год

Зонд Corrater 45 расположен рядом с pH-зондом 39 и также подключен к системе DCS 36 (фиг. 2). Зонд Corrater 44 (фиг. 2) характеризуется верхним пределом скорости коррозии, установленным для оптимального контроля. Наличие нижнего предела не требуется, поскольку целью процесса является минимизация коррозии. В любой момент, когда скорость коррозии превышает 2,0 мила в год, насос 34 для подачи химических веществ (фиг. 2) по сигналу от DCS 36 увеличивает подачу до тех пор, пока скорость не упадет, например, ниже 1,0 мила в год.

Таким образом, использование надежного pH-зонда для контроля такого процесса ранее не проводилось. Настоящее изобретение включает следующие уникальные признаки зонда, который теперь может использоваться в этой среде с высокой надежностью и точностью. Эти признаки зонда перечислены ниже:

- состав стекла безопасен для окружающей среды,
- химически разработан, чтобы противостоять воздействию окружающей среды, что обеспечивает химическую стойкость и износостойкость,
- устойчивость к воздействию агрессивных газов,
- устойчивость к истиранию и высокоскоростным твердым частицам,
- функция электронной передачи,
- твердотельная конструкция полностью герметична и адаптирована к условиям окружающей среды,
- внутренние O-кольца не используются, так как они деградируют и могут выйти из строя,
- не используются гели или электролиты, так как они могут легко загрязниться и увеличить объем технического обслуживания,
- чрезвычайно большая площадь поверхности снижает образование нагара и повышает надежность,
- характеристики стекла обеспечивают очень низкое отклонение и надежность показаний в течение длительного времени, составляющего 2-4 недели, при этом ежедневная настройка не требуется,
- стеклянная конструкция отличается высокой прочностью и
- конструкция с двойным и тройным спаем обеспечивает длительный срок службы.

Таким образом, надежный мониторинг pH позволяет правильно буферизовать воду для охлаждения дымовых газов установки риформинга, чтобы предотвратить возникновение коррозии и накипи. Мониторинг в режиме реального времени с помощью системы DCS позволяет регулировать буферизацию pH по мере необходимости. Признак резервного мониторинга на выходе из компрессора обеспечивает контроль pH и отсутствие недостаточной или избыточной подачи буферного раствора. Химический контроль коррозии эффективно поддерживается, так как правильный pH воды позволяет использовать продукты для борьбы с коррозией при соответствующем pH, при этом эффективность обработки повышается. Скорость коррозии (и, соответственно, эффективность) отслеживается и контролируется с помощью системы DCS и обеспечивает достижение требуемых результатов в заданных диапазонах. Для борьбы с коррозией используются парафазные, пленкообразующие и действующие на поверхность ингибиторы, благодаря чему улучшается работа компрессора и процессов, происходящих ниже по потоку (до осушителей), образуется и поддерживается защитный слой. Контроль паровой фазы гарантирует, что капли воды в газе уплотнения не вызовут дальнейшей коррозии до осушителя. Все аэрозольные капли воды, которые покидают газовую фазу (т.е. конденсируются), оседают с нейтральным pH, тем самым снижая коррозионную природу воды. В результате всего этого компрессор уплотнительного газа и прочее оборудование работают более надежно и оптимизируют производство, так как исключается техническое

обслуживание и ремонт, вызванные коррозией или образованием накипи.

Хотя настоящее изобретение проиллюстрировано и описано в данном документе со ссылкой на предпочтительные варианты осуществления и его конкретные примеры, специалистам в данной области будет очевидно, что другие варианты осуществления и примеры могут выполнять похожие функции и/или достигать подобных результатов. Все такие эквивалентные варианты осуществления и примеры находятся в пределах сущности и объема настоящего изобретения и тем самым предполагаются, и при этом подразумевается, что они охватываются следующими неограничительными пунктами формулы изобретения для всех целей.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ эксплуатации компрессора уплотнительного газа, используемого в процессе прямого восстановления, при этом способ включает

осуществление мониторинга уровня рН потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень рН потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где стадию мониторинга осуществляют в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа; и

регулирование уровня рН потока воды для поддержания уровня рН потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга.

2. Способ по п.1, дополнительно включающий поддержание уровня рН потока воды выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10.

3. Способ по п.1, дополнительно включающий поддержание уровня рН потока воды ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5.

4. Способ по п.1, где регулирование уровня рН потока воды включает введение химического вещества, регулирующего уровень рН, в поток воды на основании получаемых данных со стадии мониторинга.

5. Способ по п.1, дополнительно включающий осуществление мониторинга коррозионной активности потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на коррозионную активность потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, и регулирование коррозионной активности потока воды для поддержания коррозионной активности потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга.

6. Способ по п.5, дополнительно включающий поддержание коррозионной активности потока воды в диапазоне менее 2,0 мила в год.

7. Система эксплуатации компрессора уплотнительного газа, используемого в процессе прямого восстановления, при этом система содержит

распределенную систему управления;

один или более рН-зондов, соединенных с распределенной системой управления и выполненных с возможностью мониторинга уровня рН потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень рН потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где мониторинг осуществляется в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа; и

химический инжектор для регулирования рН, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования уровня рН потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных от одного или более рН-зондов в направлении распределенной системы управления.

8. Система по п.7, выполненная с возможностью поддержания уровня рН потока воды перед компрессором уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10.

9. Система по п.7, выполненная с возможностью поддержания уровня рН потока воды после компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5.

10. Система по п.7, дополнительно содержащая зонд Corrater, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью мониторинга коррозионной активности потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на коррозионную активность потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, и

химический инжектор для контроля коррозионной активности, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования коррозионной активности потока воды для поддержания коррозионной активности потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга.

11. Система по п.10, выполненная с возможностью поддержания коррозионной активности потока воды ниже 2,0 мила в год.

12. Система по п.10, где химический инжектор для контроля коррозионной активности выполнен с возможностью осуществления доставки в поток воды одной или более из программ пленкообразующей, парофазной и электрохимической коррозионной обработки для поддержания коррозионной активности потока воды в пределах заранее определенного диапазона.

13. Система по п.10, где один из одного или более рН-зондов расположен вместе с зондом Corrater.

14. Система прямого восстановления, содержащая печь;

компрессор уплотнительного газа, выполненный с возможностью осуществления доставки уплотнительного газа в печь;

установку риформинга, выполненную с возможностью осуществления доставки потока дымового газа установки риформинга в компрессор уплотнительного газа;

распределенную систему управления;

один или более рН-зондов, соединенных с распределенной системой управления и выполненных с возможностью мониторинга уровня рН потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на уровень рН потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, где мониторинг осуществляется в одном или более местах выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа и ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа; и

химический инжектор для регулирования рН, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования уровня рН потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных от одного или более рН-зондов в направлении распределенной системы управления.

15. Система прямого восстановления по п.14, выполненная с возможностью поддержания уровня рН потока воды выше по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,5 до 10.

16. Система прямого восстановления по п.14, выполненная с возможностью поддержания уровня рН потока воды ниже по потоку относительно компрессора уплотнительного газа в диапазоне от 7,8 до 9,5.

17. Система прямого восстановления по п.14, дополнительно содержащая

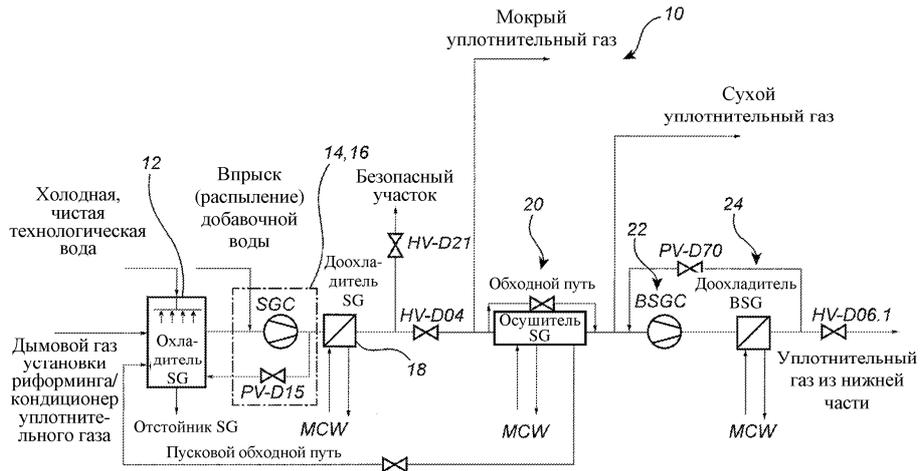
зонд Corrater, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью мониторинга коррозионной активности потока воды, используемого в компрессоре уплотнительного газа, где на коррозионную активность потока воды влияет поток дымового газа установки риформинга, который вступает в контакт с потоком воды, и

химический инжектор для контроля коррозионной активности, соединенный с распределенной системой управления и выполненный с возможностью регулирования коррозионной активности потока воды для поддержания коррозионной активности потока воды в заранее определенном диапазоне на основании получаемых данных со стадии мониторинга.

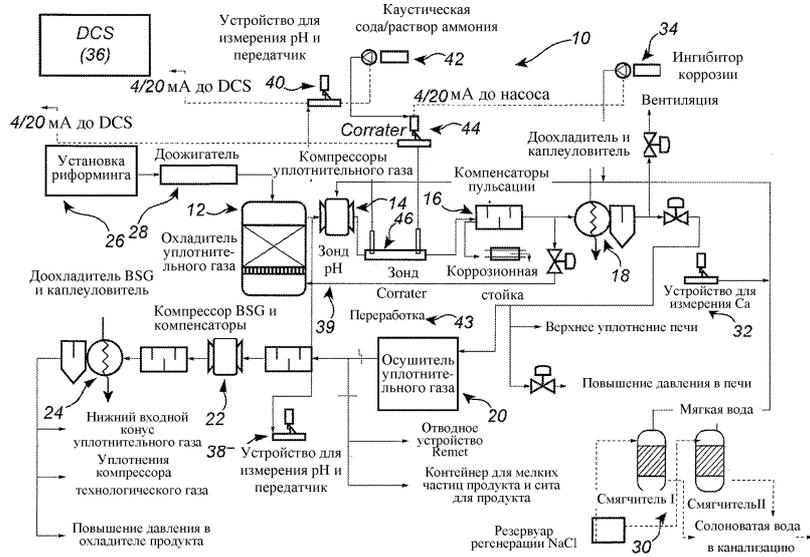
18. Система прямого восстановления по п.17, выполненная с возможностью поддержания коррозионной активности потока воды в диапазоне менее 2,0 мила в год.

19. Система прямого восстановления по п.17, где химический инжектор для контроля коррозионной активности выполнен с возможностью осуществления доставки в поток воды одной или более из пленкообразующей, парофазной и электрохимической обработки.

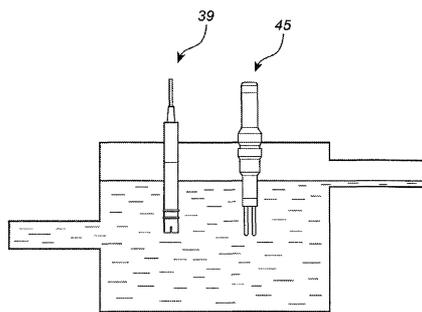
20. Система прямого восстановления по п.17, где один из одного или более рН-зондов расположен вместе с зондом Corrater.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

