

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034826**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.03.25**

(51) Int. Cl. **B01D 53/86** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201690481**

(22) Дата подачи заявки  
**2014.10.17**

---

(54) **СПОСОБ УДАЛЕНИЯ МЕТАНА ИЗ ГАЗА**

---

(31) **1318592.1**

(56) US-A1-2012189523  
WO-A1-2014087344  
JP-A-2006312143  
CN-A-102225321

(32) **2013.10.21**

(33) **GB**

(43) **2016.11.30**

(86) **PCT/GB2014/053126**

(87) **WO 2015/059453 2015.04.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ДЖОНСОН МЭТТИ ДЭЙВИ  
ТЕКНОЛОДЖИС ЛИМИТЕД (GB)**

(72) Изобретатель:  
**Уотсон Дэвид, Суинни Джон (GB)**

(74) Представитель:  
**Дорофеев С.А., Медведев В.Н. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к способу удаления метана из сырьевого газа, характеризующегося концентрацией метана 2 мол.% или менее, причем указанный способ или предусматривает стадии: (a) необязательно смешивания сырьевого газа с подпиточным метаном или подпиточным воздухом; (b) пропускания сырьевого газа и необязательно подпиточного газа через теплообменник для повышения температуры газа до желаемой температуры на входе  $T_1$  реактора окисления; (c) пропускания нагретого потока со стадии (b) в реактор окисления, содержащий катализатор окисления, где метан окисляется; (d) удаления газового потока, содержащего продукты реакции окисления, из реактора, причем указанный газовый поток характеризуется температурой на выходе  $T_2$ , которая выше температуры на входе  $T_1$ ; (e) пропускания газового потока, удаленного на стадии (d), через теплообменник относительно потока в реактор со стадии (b) для обеспечения регенерации тепла газового потока, удаленного на стадии (d), и использования для нагревания потока в реактор на стадии (b) и (f) измерения температуры на выходе  $T_2$  и контроля температуры на входе  $T_1$  путем регулирования относительного количества подпиточного метана и/или подпиточного воздуха, вводимого на стадии (a), или вместо шагов (a) и (f) способ может содержать следующие стадии: (b2) необязательно байпасирования части сырья мимо теплообменника с необязательным подпиточным воздухом; (f2) измерения температуры на выходе  $T_2$  и контроля температуры на входе  $T_1$  путем регулирования количества сырья, которое проходит мимо теплообменника.

---

**B1**

**034826**

**034826**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Изобретение относится к способу удаления метана из газа. Более конкретно, оно относится к способу удаления метана из газа при низкой концентрации метана и, в частности, при концентрации приблизительно 1 мол.% или менее. Еще более конкретно оно относится к способу удаления метана из вентиляционного газа угольных шахт.

### **Уровень техники**

Пласт угля будет в большинстве случаев содержать значительное количество метана, адсорбированного в нем. Обычно желательно и возможно удалять этот метан из неразрабатываемого пласта при помощи дренажа. Извлеченный газ будет характеризоваться относительно высокой концентрацией метана, которая может находиться в области от приблизительно 30 мол.% до приблизительно 95 мол.%. Таким образом, относительно легко и рентабельно использовать этот метан.

Метан также обнаруживается в газе, отводимом из вентиляционной системы угольной шахты. Однако, в отличие от газа из шахтного пласта вентиляционный газ характеризуется очень низкой концентрацией метана, которая будет обычно составлять только порядка от приблизительно 0,1 мол.% до приблизительно 1 мол.%. Таким образом, его обычно сбрасывают в атмосферу с другими газами, которые образуют сброс вентиляционного газа.

Хотя этот выброс метана непосредственно не является опасным для людей, считается, что его присутствие в атмосфере может вносить вклад в глобальное потепление и/или изменение климата. Таким образом, желательно разработать альтернативные конструкции для снижения количества сбрасываемого метана.

Хотя в теории одним вариантом извлечения метана будет концентрирование вентиляционного газа угольных шахт с тем, чтобы количество метана стало выше, в таком способе будут получать концентрацию вплоть до предела взрываемости метана, который обычно составляет от приблизительно 5 мол.% до приблизительно 15 мол.% метана. Таким образом, присутствуют значительные факторы опасности, связанные с любым способом, который включает стадию концентрирования.

Ввиду этого различные альтернативные способы были предложены или для использования вентиляционного газа непосредственно, например, в турбинах, или для окисления газа в присутствии или в отсутствие подходящего катализатора так, чтобы метан, находящийся в газе, окислялся до диоксида углерода и воды перед его удалением. Примеры систем окисления описаны в документах CN102230393, CN102225321, CN102218286, CN102205207, CN101418702, CN101906986, CN201301726, CN201650343 и CN101206027.

При процессах окисления обычно необходимо нагревать газ перед его контактом с катализатором. Однако, этими процессами может быть сложно управлять. Одна проблема состоит в том, что температуру в реакторе следует регулировать так, чтобы она была достаточно высокой для того, чтобы происходила реакция, но так, чтобы она не была слишком высокой, поскольку высокие температуры могут повреждать и даже дезактивировать катализатор.

Необходимость контроля температуры во время процесса окисления осложняется тем, что концентрация газообразного метана в потоке вентиляционного газа, извлеченного из шахты, колеблется.

Один предложенный способ для использования газовых потоков, характеризующихся низкой, но изменяющейся, концентрацией метана в вентиляционном газе из угольной шахты, обсуждается в US2012/0189523. Согласно первой конструкции предложенный способ предусматривает подачу газа через теплообменник, в котором его предварительно нагревают. Этот предварительно нагретый газ затем подают в реактор, в котором он контактирует с катализатором окисления для того, чтобы происходила реакция окисления. Прореагировавший газ затем пропускают через теплообменник для того, чтобы регенерировать тепло путем теплообмена с непрореагировавшим газом. Способ также предусматривает изменение количества газа, которое подают на катализатор окисления, в зависимости от концентрации метана в газе, который следует обработать, таким образом, чтобы расход газа увеличивался, когда концентрация метана высокая, и снижался, когда концентрация метана низкая.

Согласно второй конструкции, описанной в US2012/0189523, газ, который следует обработать, пропускают через низкотемпературный перепускной трубопровод в теплообменник с тем, чтобы он нагревался. Предварительно нагретый газ затем подают в реактор, в котором он контактирует с катализатором окисления, при этом происходит желаемая реакция окисления. Прореагировавший газ затем пропускают через теплообменник для обеспечения теплообмена с сырьевым газом. Согласно данной конструкции некоторую часть потока на сторону низкой температуры или на сторону высокой температуры теплообменника можно пропускать через короткий перепускной трубопровод с тем, чтобы часть газа могла обойти теплообменник. Отношение сырьевого газа, который следует подавать через короткий перепускной трубопровод, к количеству, которое следует подавать в теплообменник, можно изменять так, что, чем меньше отношение, тем ниже концентрация метана в сырьевом газе, и, чем выше отношение, тем выше концентрация метана в сырьевом газе.

Хотя эти способы предлагают некоторые средства для решения проблем, связанных с использованием метана с низкой концентрацией в газе, таком как вентиляционные потоки шахт, желательно обеспечить альтернативный способ для использования газовых потоков, содержащих количество метана, ко-

торое ниже диапазона горения, таких как вентиляционный поток из угольной шахты.

### Сущность изобретения

Согласно первому аспекту настоящего изобретения обеспечивается способ удаления метана из сырьевого газа, имеющего концентрацию метана 2 мол.% или менее с использованием системы, включающей линию сырьевого газа для подачи сырьевого газа в теплообменник, реактор окисления, в который поступает нагретый теплообменником сырьевой газ, и линию подачи подпиточного метана для подачи подпиточного метана для смешивания с сырьевым газом в линии сырьевого газа, причем указанный способ включает стадии:

(a) пропускания сырьевого газа через указанный теплообменник для повышения температуры сырьевого газа до заданной температуры на входе  $T_1$  указанного реактора окисления;

(b) подачи нагретого сырьевого газа со стадии (a) в реактор окисления, содержащий катализатор окисления, где метан в сырьевом газе окисляется;

(c) отвода газового потока, содержащего продукты реакции окисления, из реактора, причем указанный газовый поток характеризуется температурой на выходе  $T_2$ , которая выше упомянутой температуры на входе  $T_1$ ;

(d) пропускания газового потока, полученного на стадии (c), через теплообменник для осуществления теплообмена с сырьевым газом со стадии (a) для обеспечения регенерации тепла газового потока, полученного на стадии (c), и использования его для нагревания сырьевого газа на стадии (a); и

(e) регулирования температуры сырьевого газа на входе в реактор окисления путем добавления подпиточного метана из линии подачи подпиточного метана в сырьевой газ так, чтобы когда температура на входе в реактор окисления падает ниже заданной температуры на входе  $T_1$ , количество вводимого подпиточного метана изменяют таким образом, чтобы привести температуру на входе в реактор окисления к упомянутой заданной температуре  $T_1$ .

Будет понятно, что путем регулирования температуры на выходе  $T_2$  регулируют температуру на входе  $T_1$ .

Согласно одному аспекту настоящего изобретения температуру на выходе  $T_2$  сравнивают с заранее определенной заданной температурой, а концентрацию метана или воздуха в сырьевом газе для изменения температуры сырьевого газа на входе в реактор окисления таким образом, чтобы после повышения температуры, вызванного реакцией в реакторе окисления температура на выходе  $T_2$  приближалась к заданной температуре.  $T_1$  не будут регулировать до температуры, которая ниже минимальной температуры начала реакции.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения катализатор содержит палладий, платину или как платину, так и палладий на носителе. Носитель может представлять собой оксидный носитель. Носитель катализатора может иметь конфигурацию сот.

Согласно еще одному аспекту настоящего изобретения температура на входе  $T_1$  составляет по меньшей мере 350°C.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения температура на выходе  $T_2$  составляет 650°C или менее.

Согласно одному аспекту настоящего изобретения сырьевой газ содержит менее 1 мол.% метана, или менее 0,5 мол.%, или менее чем приблизительно 0,1 мол.% метана.

Срок службы катализатора максимизируют согласно настоящему изобретению, поскольку температуры можно регулировать так, чтобы минимизировать и предпочтительно избежать вызванной температурой потери свойств катализатором. Согласно настоящему изобретению  $T_1$  следует устанавливать в пределах рабочего диапазона, что не позволяет  $T_2$  повышаться выше максимальной рабочей температуры катализатора. Однако, изменения концентрации метана из шахты будут вызывать колебания в наблюдаемом экзотермическом эффекте и, следовательно, изменения  $T_2$ . Это изменение следует регулировать так, чтобы оно было ниже максимально допустимого показателя для  $T_2$ , а также следует регулировать так, чтобы получать желаемую температуру на входе в слой катализатора  $T_1$ .

Таким образом, в настоящем изобретении используют тот факт, что, как только повышается концентрация метана, температура на выходе  $T_2$  будет повышаться. Если температура  $T_2$  повышается, подпиточный воздух можно смешивать с сырьем с тем, чтобы концентрация метана снизилась. Аналогично, если температура  $T_1$  слишком низкая, чтобы обеспечивать работу катализатора, введение подпиточного метана для повышения концентрации метана будет повышать  $T_2$  так, чтобы более горячий поток проходил через теплообменник, что, в свою очередь, будет приводить к повышению температуры сырьевого потока, как только он проходит через теплообменник, и, таким образом, повышению  $T_1$ .

Любой подходящий катализатор можно использовать в реакторе окисления. Согласно одной конструкции катализатор может представлять собой иридий и платину, диспергированные на носителе, таком как оксидный носитель. Примеры подходящих носителей включают диоксид циркония, диоксид титана, оксид алюминия или их смеси. Согласно альтернативной конструкции катализатор может представлять собой палладий и/или платину на носителе. Катализатор может находиться в любой подходящей конфигурации, но согласно одной конструкции он может быть в виде подложки с покрытием, например, в виде металлической или керамической сотовой конфигурации.

Требуемая температура будет зависеть от используемого катализатора. Если катализатор содержит палладий и/или платину на носителе,  $T_1$  предпочтительно составляет по меньшей мере  $350^\circ\text{C}$ . Температуры свыше  $650^\circ\text{C}$  будут обычно избегать для максимизации срока службы катализатора и минимизации стоимости реактора.

Как только нагретый содержащий метан газ проходит через катализатор, метан окисляется до диоксида углерода и воды.

Согласно одной конструкции расход в реактор будет поддерживаться постоянным.

Следует понимать, что подпиточный метан, необязательно вводимый на стадии (а), может представлять собой метан или газовый поток, содержащий метан. Согласно данной последней конструкции обогащенный метаном поток предпочтителен.

Таким образом, настоящее изобретение обеспечивает систему, учитывающую колебания концентрации метана. Конструкция достаточно гибкая, чтобы быстро изменять количество подпиточного метана или подпиточного воздуха, в то же время сохраняя общий поток на слой катализатора постоянным.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения обеспечивается способ удаления метана из сырьевого газа, характеризующегося концентрацией метана приблизительно 2 мольн. % или менее, причем указанный способ предусматривает стадии:

(а) пропускания сырьевого газа через теплообменник для повышения температуры газа до желаемой температуры на входе  $T_1$  реактора окисления;

(b) необязательно байпасирования части сырья мимо теплообменника с необязательным подпиточным воздухом;

(с) пропускания нагретого потока со стадии (а) и любого байпасированного сырья со стадии (b) в реактор окисления, содержащий катализатор окисления, где метан окисляется;

(d) удаления газового потока, содержащего продукты реакции окисления, из реактора, причем указанный газовый поток характеризуется температурой на выходе  $T_2$ , которая выше температуры на входе  $T_1$ ;

(е) пропускания газового потока, удаленного на стадии (d), через теплообменник относительно потока в реактор со стадии (а) для обеспечения регенерации тепла газового потока, удаленного на стадии (d), и использования для нагревания потока в реактор на стадии (а) и

(f) измерения температуры на выходе  $T_2$  и контроля температуры на входе  $T_1$  путем регулирования количества сырья, которое проходит мимо теплообменника.

Будет понятно, что путем регулирования температуры на выходе  $T_2$  регулируют температуру на входе  $T_1$ .

Смешивание холодного байпасного потока с нагретым сырьевым потоком облегчает регулирование температуры  $T_1$  на входе в реактор. Количество байпасного газа можно увеличивать, как только концентрация метана увеличивается, что будет в ином случае приводить к повышению температуры на выходе из реактора.

Катализатор и температуры являются такими, как обсуждалось выше применительно к вышеуказанному первому аспекту настоящего изобретения.

Согласно любой конструкции пламенный пусковой нагреватель или другой подходящий способ нагревания можно обеспечивать для нагревания реактора до рабочих условий.

Если катализатор дезактивируется, отходящий газ реактора будет в результате содержать метан. Присутствие метана в отходящем потоке можно обнаружить. Эти процессы могут затем обеспечивать работу системы так, что  $T_1$  может повышаться до тех пор, пока никакого дополнительного метана в потоке, удаляемом из детектора, не будет замечено.

Концентрацию метана в потоке, полученном из реактора, можно определять любыми подходящими средствами. Согласно одной конструкции ее можно измерять при помощи недиспергирующего инфракрасного анализатора, в котором используют твердотельный детектор, который обеспечивает непрерывный контроль метана вплоть до 1 части на миллион или менее.

Поток сырьевого газа может характеризоваться менее чем приблизительно 1 мол.% метана, или менее чем приблизительно 0,5 мол.%, или менее чем приблизительно 0,1 мол.% метана.

Любой подходящий расход газа можно использовать. Согласно одной конструкции часовая объемная скорость газа может составлять приблизительно 20000 л газа/л катализатора/ч при линейной скорости на внешней поверхности катализатора приблизительно менее 20 м/с.

Хотя настоящее изобретение было описано со ссылкой на обработку метана в вентиляционном газе из угольной шахты, будет понятно, что оно равно пригодно для других потоков, в которых присутствует низкая концентрация метана.

#### **Краткое описание чертежей**

Настоящее изобретение теперь будет описано в качестве примера со ссылкой на сопутствующие графические материалы, на которых

на фиг. 1 представлено схематическое изображение технологической схемы согласно первому аспекту настоящего изобретения; а

на фиг. 2 представлено схематическое изображение технологической схемы согласно второму ас-

пекту настоящего изобретения.

#### Подробное описание вариантов осуществления изобретения

Специалистам в данной области техники будет понятно, что графические материалы являются схематическими, и что дополнительные элементы оборудования, такие как сборники орошающей фракции, насосы, вакуумные насосы, датчики температуры, датчики давления, клапаны сброса давления, регулирующие клапаны, регуляторы расхода, регулирующие расход заслонки, газоходы, пламегасители, регуляторы уровня, баки-накопители, резервуары для хранения и подобное, могут требоваться на коммерческом предприятии. Обеспечение таких дополнительных элементов оборудования не образует часть настоящего изобретения, а находится в соответствии с обычной практикой в химической технологии.

Как показано на фиг. 1, газ отводят из шахты по линии 1 при помощи вентилятора 2, при этом он смешивается с необязательным подпиточным метаном, обычно в виде обогащенного метаном газа, 3 или необязательным подпиточным воздухом по линии 4, подаваемым вентилятором 13, а затем его подают в теплообменник 5, где его нагревают до температуры  $T_1$ , и затем его подают по линии 6 в реактор 7. В реакторе метан превращается в диоксид углерода и воду. Газовый поток, который будет нагрет во время экзотермической реакции до температуры  $T_2$ , затем отводят из реактора по линии 8, по которой его пропускают через теплообменник 5 относительно поступающего сырья по линии 1 так, что он охлаждается, а сырьевой поток нагревается. Охлажденный производственный газ затем отводят по линии 9.

Контроллер 10 контролирует температуры  $T_1$  и  $T_2$ , измеренные датчиками 11 и 12, а затем регулирует подачу подпиточного метана и подпиточного воздуха при необходимости.

Согласно альтернативной конструкции, показанной на фиг. 2, сырье 21 отводят из шахты при помощи вентилятора 22 главного проветривания, а затем его направляют в теплообменник 23, где оно нагревается. Часть сырья можно байпасировать мимо теплообменника по линии 24, а затем смешивать с нагретым сырьем. Клапан 25 регулирует байпас. Подпиточный воздух можно вводить в байпасный поток по линии 26 при помощи вентилятора 27. При запуске метан, который пропускали через пусковую горелку 31, можно вводить по линии 38. Также можно вводить метан посредством линий 38 и 39, которые обходят пусковую горелку при нормальной работе.

Поток затем подают по линии 28 в реактор 29, где происходит реакция. Газовый поток затем удаляют из реактора 29 по линии 32, причем его затем пропускают через теплообменник 23, где он охлаждается, в то же время нагревая сырьевой газ. Охлажденный газ затем сбрасывают по линии 33.

Контроллер 34 контролирует температуры  $T_1$  и  $T_2$ , измеренные датчиками 35 и 36 и анализатором 37 метана на выходе, а затем контролирует количество байпаса при помощи клапана 25 и количество подпиточного воздуха, вводимого по линии 26.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ удаления метана из сырьевого газа, имеющего концентрацию метана 2 мол.% или менее с использованием системы, включающей линию сырьевого газа для подачи сырьевого газа в теплообменник, реактор окисления, в который поступает нагретый теплообменником сырьевой газ, и линию подачи подпиточного метана для подачи подпиточного метана для смешивания с сырьевым газом в линии сырьевого газа, причем указанный способ включает стадии:

(a) пропускания сырьевого газа через указанный теплообменник для повышения температуры сырьевого газа до заданной температуры на входе ( $T_1$ ) указанного реактора окисления;

(b) подачи нагретого сырьевого газа со стадии (a) в реактор окисления, содержащий катализатор окисления, где метан в сырьевом газе окисляется;

(c) отвода газового потока, содержащего продукты реакции окисления, из реактора, причем указанный газовый поток характеризуется температурой на выходе ( $T_2$ ), которая выше упомянутой температуры на входе ( $T_1$ );

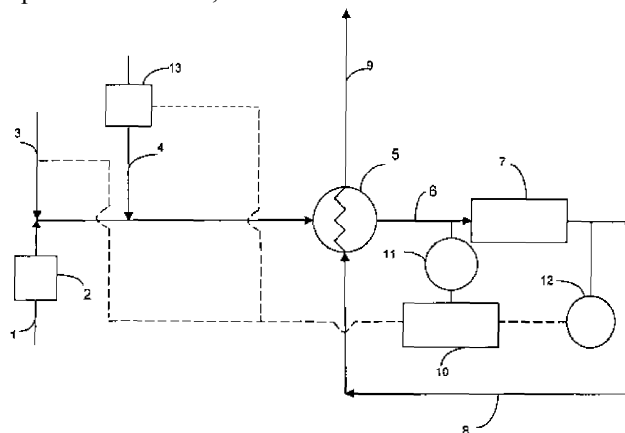
(d) пропускания газового потока, полученного на стадии (c), через теплообменник для осуществления теплообмена с сырьевым газом со стадии (a) для обеспечения регенерации тепла газового потока, полученного на стадии (c), и использования его для нагревания сырьевого газа на стадии (a); и

(e) регулирования температуры сырьевого газа на входе в реактор окисления путем добавления подпиточного метана из линии подачи подпиточного метана в сырьевой газ так, чтобы когда температура на входе в реактор окисления падает ниже заданной температуры на входе ( $T_1$ ), количество вводимого подпиточного метана изменяют таким образом, чтобы привести температуру на входе в реактор окисления к упомянутой заданной температуре ( $T_1$ ).

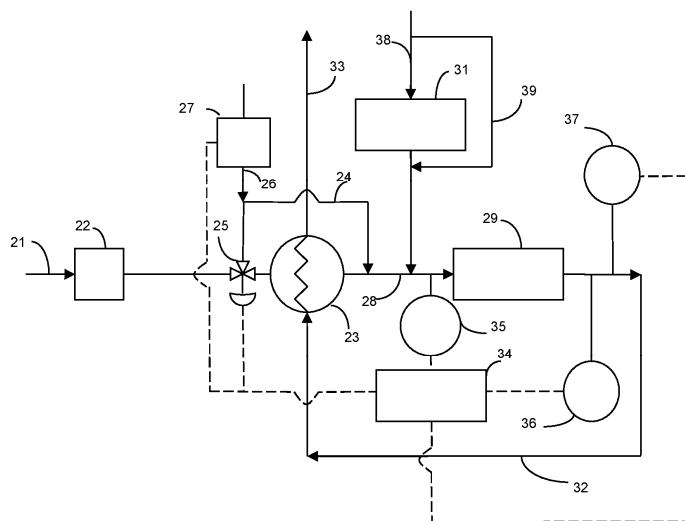
2. Способ по п.1, в котором температуру на выходе ( $T_2$ ) сравнивают с заранее определенной заданной температурой, а концентрацию метана в сырьевом газе регулируют для изменения температуры сырьевого газа на входе в реактор окисления таким образом, чтобы после повышения температуры, вызванного реакцией в реакторе окисления температура на выходе ( $T_2$ ) приближалась к заданной температуре.

3. Способ по любому из пп.1-2, в котором катализатор содержит палладий, платину или как платину, так и палладий на носителе.

4. Способ по п.3, в котором носитель представляет собой оксидный носитель.  
 5. Способ по любому из пп.1-2, в котором носитель катализатора имеет конфигурацию в виде сот.  
 6. Способ по п.3, в котором температура на входе ( $T_1$ ) составляет по меньшей мере  $350^{\circ}\text{C}$ .  
 7. Способ по п.3, в котором температура на выходе ( $T_2$ ) составляет  $650^{\circ}\text{C}$  или менее.  
 8. Способ по любому из пп.1-2, в котором сырьевой газ содержит менее 1 мол.% метана, или менее 0,5 мол.%, или менее чем приблизительно 0,1 мол.% метана.



Фиг. 1



Фиг. 2