

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **025121**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2016.11.30**

(21) Номер заявки  
**201290340**

(22) Дата подачи заявки  
**2010.11.03**

(51) Int. Cl. **C01B 3/02** (2006.01)  
**H01M 8/06** (2006.01)  
**B01D 53/62** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ФОРМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ТЕПЛА И ГАЗООБРАЗНОГО ВОДОРОДА**

---

(31) **20093575**

(32) **2009.12.22**

(33) **NO**

(43) **2013.06.28**

(86) **PCT/NO2010/000400**

(87) **WO 2011/078681 2011.06.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**СЕГ ПАУЭР АС (NO)**

(72) Изобретатель:  
**Рохейм Арне, Вик Арильд (NO)**

(74) Представитель:  
**Поликарпов А.В. (RU)**

(56) **US-A-20070099038**  
**US-A-20040043276**  
**WO-A-02070402**

(57) В изобретении предложены способ и устройство для экологически рационального, одновременного получения энергии в форме электричества, газообразного водорода и тепла из углеродсодержащего газа, причем указанный способ включает i) постоянное разделение потока сырья, состоящего из углеродсодержащего газа, на первый газообразный поток сырья и второй газообразный поток сырья; ii) загрузку первого газообразного потока сырья в первичный ТОТЭ для получения электричества и тепла, а также CO<sub>2</sub>; iii) загрузку другого газообразного потока сырья в реакторную систему получения газообразного водорода для получения водорода и CO<sub>2</sub>; iv) нагревание системы получения газообразного водорода, по меньшей мере частично, теплом, полученным по меньшей мере в одном ТОТЭ; v) возможно, улавливание CO<sub>2</sub>, образованного в первичном ТОТЭ, путем сжигания газов дожигателя в чистом кислороде и сушки отходящего газа; vi) улавливание CO<sub>2</sub>, образованного в реакторной системе получения газообразного водорода, с использованием поглотителя.

**B1**

**025121**

**025121**  
**B1**

Данное изобретение относится к способу и устройству для одновременного получения энергии в формах электричества, тепла и газообразного водорода, исходя из синтез-газа и/или природного газа, которые, в свою очередь, можно получить из многочисленных первичных источников энергии.

#### **Уровень техники**

Удовлетворение мировой потребности в электроэнергии, тепле и водороде в обозримом будущем будет основано на газообразных, жидких и твердых ископаемых видах топлива. Таким образом, международные интересы, связанные с глобальным потеплением, будут все больше сосредотачиваться на улавливании и хранении углерода (УХУ). Таким образом, неизбежной является разработка безопасных в отношении окружающей среды, эффективных в экономическом и энергетическом отношении технологий, учитывающих вопросы улавливания и хранения углерода.

В этом отношении одной из основных проблем является добыча и переработка сверхтяжелой нефти и битума, поскольку из-за одновременного глобального повышения спроса на ископаемые источники энергии и уменьшения обычных ресурсов нефтяная промышленность вынуждена будет обратиться к нетрадиционным источникам. В связи с этим следует упомянуть, что в мире имеется более чем 636 млрд кубических метров (4000 млрд баррелей) сверхтяжелой нефти (СТН) и битума. Добыча и переработка этих ресурсов, например, из битуминозных песков является чрезвычайно энергоемким процессом, с сильным воздействием на окружающую среду.

В настоящее время в отрасли промышленности, связанной с битуминозными песками, природный газ в основном используют для получения пара, например для ГДЗП (гравитационного дренирования при закачке пара), электроэнергии и для получения водорода, используемого в процессах переработки.

Однако соображения, связанные со стоимостью природного газа и его поставками в течение длительного времени, заставили разработчиков рассмотреть для будущих проектов вариант получения энергии на основе газификации. Коммерческие процессы переработки битума дают в качестве побочных продуктов асфальтены на основе нефтяного кокса, с высоким содержанием серы, которые в настоящее время размещают в отвалах. Эти возможные виды топлива (совместно с углем и/или непереработанной частью битумов, если это необходимо) можно было бы газифицировать с получением водорода, электроэнергии и пара, таким образом потенциально устраняя потребность в представляющем ценность природном газе.

Первая из таких систем на основе газификации в настоящее время находится на продвинутой стадии конструирования в Alberta, Канада. Программа Long Lake, принадлежащая Opti-Nexen Canada, Inc., представляет собой полностью интегрированное оборудование для извлечения битума и его переработки, энергию к которому подводят за счет газификации асфальтеновых остатков (G. Ordorica-Garcia et al., Energy Procedia, 1 (2009) 3977-3984: CO<sub>2</sub> Capture Retrofit Options for a Gasification-based integrated Bitumen Extraction and Upgrading Facility). Блоки газификации обеспечивают водород, необходимый для переработки, и топливо - синтез-газ для получения электроэнергии и пара на объединенной установке, что приводит к почти полностью энергетически автономной, самодостаточной работе.

Однако применение природного газа и/или синтез-газа приводит к выделению существенных количеств CO<sub>2</sub> в атмосферу, что вносит вклад в глобальное потепление.

В настоящее время применение технологии улавливания и хранения углерода в рамках отрасли по переработке битуминозных песков направлено, в первую очередь, на установки, производящие водород и электроэнергию, поскольку они являются самыми большими точечными источниками CO<sub>2</sub>. Будущие интегрированные установки, основанные на газификации (производящие синтез-газ, пар, электроэнергию и водород, применяемый для переработки), также должны будут удовлетворять задачам технологий с улавливанием и хранением углерода. Если улавливание CO<sub>2</sub> в таких случаях основано на доступных в настоящее время технологиях, это будет оказывать существенное влияние на капитальные и эксплуатационные расходы, а также на характеристики установки (особенно если необходима модернизация).

Способ и устройство для "Получения водорода из углеродсодержащих материалов" были запатентованы в WO 01/42132 A1. Это устройство осуществляет газификацию угля путем гидрогенизации в емкости для газификации. За этой стадией процесса следует получение водорода из метана и воды, при котором равновесие смещают с использованием реакции карбонизации оксидом кальция, в емкости для карбонизации. Такой процесс часто называют получением водорода посредством парового реформинга метана, ускоренного сорбцией. На стадии газификации уголь (или синтез-газ) гидрогенизируют водородом с получением газообразного продукта реакции, состоящего в основном из метана. Этот газообразный продукт реакции направляют в емкость для карбонизации, где он реагирует с водой и оксидом кальция, с получением водорода и твердого карбоната кальция и удалением диоксида углерода из полученного газообразного потока.

Процесс, описанный в WO 01/42132 A1, не обеспечивает избыточного тепла, например, для гравитационного дренирования при закачке пара. Таким образом, у этого процесса недостает эксплуатационной адаптируемости, желательной для многих интересных применений. Кроме того, весь CO<sub>2</sub> из системы процесса улавливают в процессе парового реформинга метана, ускоренного сорбцией. Это не может быть экономически эффективным в применении, в которых необходимы значительные количества подаваемого извне тепла в сочетании с необходимыми количествами водорода и электричества, например,

в промышленности, связанной с битуминозными песками.

Публикация WO 2004/025767 описывает установку для получения электричества из потока, содержащего углеводороды. В соответствии с одним из примеров воплощения для получения электричества используют ТОТЭ (твердооксидный топливный элемент). Этот процесс включает реформинг топлива с целью получения водорода перед отделением его от других компонентов, для использования чистого водорода в качестве сырья для топливного элемента.  $\text{CO}_2$ , полученный в ходе реформинга, можно уловить для последующего применения или хранения. Способ WO 2004/025767 направлен на применения, которые не требуют избыточного тепла, и в которых основной целью является только высокая эффективность совместного получения электричества и водорода.

Следовательно, необходима новая технология, предпочтительно с изменяющейся концепцией, направленная на оптимизацию по энергии, улавливание  $\text{CO}_2$  и хранение под поверхностью земли или использование (например, для увеличения нефтеизвлечения).

#### **Цели изобретения**

Таким образом, задачей данного изобретения является обеспечение способа, который позволяет в промышленном масштабе, экономически и энергетически эффективно и экологически рационально осуществлять добычу тяжелой нефти и битума и получение из них энергии, а также экологически рационально получать энергию из биомасс и органических отходов.

Производной задачей является обеспечить вышеупомянутый способ средствами, обеспечивающими эффективное улавливание и хранение диоксида углерода, которые позволяют осуществлять в высокой степени гибкое получение энергии в форме электричества, водорода и тепла. Под "гибкостью" в данном случае понимают то обстоятельство, что количественное соотношение этих форм энергии можно изменять в широких пределах, путем простого изменения параметров процесса, являющегося объектом данного изобретения.

#### **Описание изобретения**

Вышеупомянутых целей достигают с помощью способа по данному изобретению, который определен в п.1 формулы изобретения.

В соответствии с другим аспектом данное изобретение относится к устройству для осуществления этого способа, как оно определено в п.16 формулы изобретения.

Предпочтительные примеры воплощения данного изобретения раскрыты в зависимых пунктах формулы изобретения.

В общем, следует отметить, что когда делают ссылки на "топливный элемент", "твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ)" или "по меньшей мере один топливный элемент или ТОТЭ", то в промышленном случае это могут быть несколько батарей топливных элементов.

В то время как обычно понятие "природный газ" относится к обогащенному метаном газу, добытому из подземного месторождения, предполагают, что в представленном здесь контексте понятие "природный газ" охватывает любой обогащенный метаном газ, независимо от его происхождения.

Следует отметить, что термин "первичный ТОТЭ" не обязательно означает, что имеется другой (вторичный) ТОТЭ, включенный в способ или устройство по данному изобретению. Наличие другого (вторичного) ТОТЭ является возможной отличительной особенностью данного изобретения.

Кроме того, следует отметить, что экономически эффективное улавливание  $\text{CO}_2$  является основным преимуществом данной технологии, и в существующей в настоящее время экологической ситуации является очевидным, что улавливание  $\text{CO}_2$  включено в любую промышленную установку, выполненную на основе данного изобретения. Однако, поскольку экологическая ситуация может изменяться со временем, и поскольку способ по данному изобретению является полезным как с улавливанием  $\text{CO}_2$ , так и без него, эта отличительная особенность все еще является, по отношению к блоку ТОТЭ, возможной отличительной особенностью.

Данная технология представляет собой такую технологию с изменяющейся концепцией, и она будет вносить основной вклад в вышеприведенные задачи.

Все концепции данного изобретения основаны на двух основных "компонентах":

1) на объединенной установке ТОТЭ, производящей тепло и энергию и работающей (непосредственно) на синтез-газе или природном газе;

2) на блоке получения газообразного водорода с интегрированным улавливанием  $\text{CO}_2$  (твердый абсорбент  $\text{CO}_2$  (например,  $\text{CaO}$ )), работающем на синтез-газе (реакция конверсии  $\text{CO}$ ) или на природном газе (реакция ускоренной сорбцией конверсии метана водяным паром).

Эти два компонента обеспечивают тепло для блоков газификации (получение синтез-газа); пар для ГДЗП; блока получения водорода (регенерация абсорбента  $\text{CO}_2$ ) и установки переработки; электричество для внутренних потребностей производственной установки в целом и для продажи в местную сеть; и водород для установки переработки (переработка битума из ГДЗП в синтетическую сырую нефть или более чистые нефтепродукты).

$\text{CO}_2$  можно улавливать двумя или тремя различными способами:

а) непосредственно из батарей ТОТЭ (путем сжигания газов "дожигателя" в чистом кислороде, что снижает энергетическую эффективность только на 2-3%);

b) путем получения водорода из синтез-газа.

В последнем случае  $\text{CO}_2$  улавливают с помощью абсорбента  $\text{CO}_2$  (например,  $\text{CaO}$ ) в сочетании с реакцией конверсии  $\text{CO}$ . Чистый  $\text{CO}_2$  выпускают в ходе реакции регенерации (обжиг  $\text{CaCO}_3$  до  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$  (для хранения или использования)). В этом случае водород частично используют в качестве сырья для ТОТЭ, для получения тепла и электричества, и частично для использования в установке переработки;

с)  $\text{CO}_2$  улавливают посредством сочетания процессов а) и б). Фактически, это может быть предпочтительным, наиболее экономически эффективным решением.

Ниже проиллюстрированы различные примеры воплощения данного изобретения со ссылкой на прилагаемые чертежи, в которых:

фиг. 1 а-с представляют собой схематические изображения принципа данного изобретения, не ограниченные применением;

фиг. 2а представляет собой схематическое изображение принципа данного изобретения, при этом первичным источником энергии является природный газ;

фиг. 2b изображает вариант способа, изображенного на фиг. 2а;

фиг. 2с изображает другой вариант способа, изображенного на фиг. 2а;

фиг. 2d изображает еще один вариант способа, изображенного на фиг. 2а;

фиг. 3 представляет собой схематическую иллюстрацию данного изобретения в случае применения, в котором первичным источником энергии является тяжелая нефть/битум;

фиг. 3b изображает расширенный вариант фиг. 3а;

фиг. 4 представляет собой схематическую иллюстрацию данного изобретения в случае применения, в котором первичным источником энергии является биомасса.

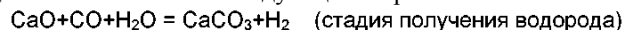
фиг. 5 представляет собой схематическую иллюстрацию данного изобретения в другом применении, в котором первичным источником энергии является биомасса.

Фиг. 1 а-с, в общем, иллюстрируют принципы гибкого производства трех типов энергетических компонентов: электричества, тепла и водорода, объединенного с экономически и энергетически эффективным улавливанием  $\text{CO}_2$ .

Фиг. 1а показывает, что углеродсодержащее топливо подают в блок газификации, нагреваемый теплом от установки, в которой эту загрузку превращают в синтез-газ. После очистки в соответствии с требованиями синтез-газ разделяют на первый и второй потоки газового сырья. Отношение между этими двумя потоками определяется рассматриваемым применением, и особенно внутренними и внешними потребностями в водороде. Первый поток газового сырья направляют в топливный элемент для получения электричества и тепла. Специалисту хорошо известно, что к одному электроду топливного элемента (ТОТЭ) следует подводить воздух, в то время как к другому подводят топливо. В топливном элементе также образуется  $\text{CO}_2$ , и его улавливают способом, который более подробно описан ниже. Следует отметить, что согласно данному способу улавливание  $\text{CO}_2$  снижает эффективность только на 2-3%, по сравнению со снижением от 5 до 10% при использовании традиционных способов. Последующее использование или размещение  $\text{CO}_2$  не является задачей данного изобретения.

Второй поток газового сырья направляют в реакторную систему для получения газообразного водорода, которая в данном примере воплощения представлена двумя последовательно соединенными реакторами. В первом из двух реакторов  $\text{CO}$ -составляющую синтез-газа превращают в водород посредством реакции с водой и системой катализатор/поглотитель. В показанном примере воплощения катализатор/поглотитель представляет собой  $\text{CaO}$ , который реагирует с образованием  $\text{CaCO}_3$ , таким образом поглощая любое количество  $\text{CO}_2$ , образующееся в ходе реакции. Вторая стадия представляет собой стадию регенерации поглотителя, который снова превращается в  $\text{CaO}$ , высвобождая  $\text{CO}_2$ . Нет необходимости говорить, что выделенный таким образом  $\text{CO}_2$  следует держать изолированным для последующего использования. Стадию регенерации реакторной системы для получения газообразного водорода обычно проводят при более высокой температуре и/или при более низком давлении, чем стадию получения газообразного водорода.

Суммарные реакции можно записать следующим образом:



В блоке получения водорода водород получают с помощью реакции конверсии  $\text{CO}$  в реакторе (реактор 1), в котором  $\text{CO}_2$  улавливают поглотителем  $\text{CO}_2$  (примером которого является  $\text{CaO}$ ), что приводит к получению почти чистого водорода (95%+) за одну стадию процесса (для большинства промышленных целей не требуется дополнительной очистки водорода). Регенерацию поглотителя проводят при высокой температуре ( $T = 850\text{-}900^\circ\text{C}$ ) в реакторе регенерации (реактор 2), который выпускает чистый  $\text{CO}_2$  для хранения или использования. Регенерированный поглотитель перемещают обратно, в блок получения водорода. Эти два реактора (1 и 2) - реакторы получения водорода и регенерации - могут представлять собой два реактора с псевдооживленным слоем, в которых один реактор предназначен для получения водорода (реактор 1), а другой реактор предназначен для регенерации поглотителя  $\text{CO}_2$  (реактор 2).

Рассмотрим фиг. 1b. В качестве альтернативы образующие реакторную систему два реактора получения газообразного водорода могут представлять собой два реактора, соединенные параллельно (реакторы с неподвижным слоем), вместо двух реакторов, соединенных последовательно (реакторы с псевдоожженным слоем). Применение двух последовательно соединенных реакторов позволяет осуществлять непрерывное производство и поддерживать установившийся режим в каждом из этих реакторов, но также требует, чтобы твердые вещества циркулировали между реакторами. Если реакторы работают в параллельном соединении, каждый из них используют периодически в режиме производства и в режиме регенерации поглотителя. Температуру и, возможно, давление следует изменять в прямом и в обратном направлении, но необходимость циркуляции твердых материалов устраняют. Согласно фиг. 1b перенос поглотителя между реактором 1 и реактором 2 отсутствует. Вместо этого реакторы работают попеременно. В один период времени реактор 1 используют для получения водорода, в то время как поглотитель регенерируют в реакторе 2. В последующий период времени ситуация является противоположной.

Обе стадии реакторной системы для получения газообразного водорода требуют тепла; нагрев обеспечивают тепло, образующимся в ТОТЭ. Тепло из ТОТЭ используют также для нагрева блока газификации. Если возникает временное снижение потребности в водороде, внешней или внутренней, отношение между первым и вторым потоком газообразного сырья можно быстро изменить. В качестве одной из возможностей, часть полученного водорода также можно использовать для получения тепла и электричества в (по меньшей мере одном) топливном элементе.

Как это организовано, улавливание  $\text{CO}_2$  из топливного элемента осуществляют путем сжигания части топлива, оставшейся в газе, выходящем из анода топливного элемента, в чистом кислороде. Таким образом, выходящий газ содержит только  $\text{CO}_2$  и пары воды. Последние можно удалить путем конденсации или другим способом осушки, оставляя в выходящем потоке чистый  $\text{CO}_2$ . Кислород можно получить путем использования кислородного насоса (переноса кислорода через мембрану под действием электрохимических сил), или переноса кислорода через мембрану за счет градиента парциального давления между выпускаемым воздухом и отработанным топливом.

Как показано в левой части фиг. 1a и 1b, избыток энергии распределяют из установки для внешнего потребления. Указано также, что избыток энергии переносят от реактора получения газообразного водорода к блоку газификации.

Фиг. 1c изображает пример воплощения, в значительной степени сходный с фиг. 1b; при этом единственным отличием является то, что все тепло для блока газификации обеспечивает ТОТЭ, в то время как избыток тепла от реактора получения газообразного водорода выпускают вовне.

Фиг. 2a изображает пример воплощения, который подобен фиг. 1, но в котором первичным источником энергии для установки является природный газ, в основном метан, и в котором блок газификации, таким образом, заменен блоком реформера, организованным для превращения метана в синтез-газ. Все другие характерные особенности фиг. 2a подобны фиг. 1. Исходя из природного газа получают синтез-газ, обогащенный водородом. Тепло подают от ТОТЭ в реактор регенерации реакторной системы получения газообразного водорода, в блок реформинга и за пределы установки. Избыток тепла из блока реформинга также можно направить за пределы установки.

Фиг. 2b изображает пример воплощения фиг. 2a, в котором перенос тепла между различными блоками несколько отличается, в то время как принципы процесса остаются такими же, в том смысле, что тепло, необходимое внутри процесса, генерируют топливным элементом. В данном случае избыток тепла из реакторной системы получения газообразного водорода (реактора его получения) направляют в блок реформинга.

Фиг. 2c изображает еще один вариант способа по данному изобретению, в котором первичным источником энергии является природный газ. В этом случае, однако, природный газ как таковой направляют в реакторную систему получения газообразного водорода, в то время как блок реформинга организован для превращения в синтез-газ только первого потока газообразного сырья. И опять тепло из топливного элемента используют для нагревания блока реформинга, а также части реакторной системы получения газообразного водорода, относящейся к регенерации поглотителя. Тепло, необходимое для получения водорода, можно подавать исключительно посредством теплого регенерированного поглотителя, а также за счет экзотермической реакции с поглотителем.

Фиг. 2d изображает еще один вариант способа по данному изобретению, в котором первичным источником энергии является природный газ. В данном случае природный газ как таковой подают как в топливный элемент, так и в реакторную систему для получения газообразного водорода. Следовательно, в способе по данному варианту синтез-газ не участвует. Перенос тепла в основном такой же, но в этом случае отсутствует блок реформинга, по меньшей мере, вблизи данной установки. Компоненты избыточной энергии для внешнего использования показаны с левой стороны.

Во всех вариантах, показанных на фиг. 2a-2d, реакторная система для получения газообразного водорода может представлять собой или реакторы с псевдоожженным слоем, работающие в установившемся режиме, или реакторы с неподвижным слоем, работающие периодически. Во всех вариантах  $\text{CO}_2$  из ТОТЭ улавливают непосредственно из выпускных труб, в то время как  $\text{CO}_2$  из реакторной системы для получения газообразного водорода улавливают абсорбентом и высвобождают в блоке регенерации.

В то время как выше представлена основная часть данного изобретения, некоторые значимые применения проиллюстрированы ниже.

Существует много промышленных предприятий, или объединенных промышленных групп, в которых необходимо иметь легко изменяемые количества тепла, электроэнергии и водорода, производимые экономически и энергетически эффективно. Главной задачей в таких случаях является обеспечить в то же время экономически и энергетически эффективное улавливание  $\text{CO}_2$ .

Эту задачу решает данное изобретение.

В связи с этим примерами очевидных случаев являются нефтеперерабатывающие установки и связанное с ними производственное и перерабатывающее оборудование в отрасли промышленности, связанной с битуминозными песками. В дополнение к применениям, связанным с получением энергии (и сырья) из ископаемых источников, существуют также интересные применения, связанные с использованием топлива/сырья, различного биологического происхождения.

Для того чтобы проиллюстрировать этот момент, далее представлены три различных возможных сценария (или примера) со ссылкой на фиг. 3-5. Все эти сценарии основаны на получении и использовании гибко изменяющихся количеств электричества, тепла и водорода, объединенных с улавливанием  $\text{CO}_2$ , которое может быть приспособлено для любой задачи или потребности. Однако следует указать, что данные сценарии являются только примерами; возможности, комбинации и гибкость, являющиеся следствием применения данного изобретения, дают почти неограниченные возможности для объединенных промышленных групп, или для предприятий, где несколько промышленных предприятий связаны друг с другом, когда отходы от одной промышленной установки или применения могут давать интересное и ценное сырье для другой.

Фиг. 3а изображает более полную систему применения, хотя и очень схематично, исходя из тяжелой нефти/ битума или битуминозного песка (далее для краткости: битум) в качестве первичного источника энергии. Как может быть известно специалистам, существуют задачи, включающие доставку битума к поверхности; и для извлечения битума из подземных пластов требуется тепло - возможно, в форме пара. Один из таких способов называют гравитационным дренированием при закачке пара (ГДЗП). Извлеченный битум перерабатывают в перерабатывающей установке и промежуточный продукт, нефтяной кокс, загружают в блок газификации (подобный установке на фиг. 1), для получения синтез-газа. Таким образом, в этом случае необходимы три стадии, требующие энергии, до того, как получить газ, который можно направить в топливный элемент. Сущность процесса по-прежнему остается такой же, и тепло, необходимое для упомянутых внутренних стадий, обеспечивает (по меньшей мере один) топливный элемент. Водород для блока переработки обеспечивают с помощью реакторной системы для получения газообразного водорода. Эта система иллюстрирует более сложное применение включенных компонентов энергии (также и внутри устройства), что проливает свет на преимущества системы, которая является гибкой в отношении присущей ей способности адаптировать или изменять соотношение между энергетическими компонентами в соответствии с применением, о котором идет речь, или даже с изменяющимися во времени потребностями для одного и того же применения. Следует отметить, что согласно этому примеру воплощения/применению данное изобретение позволяет осуществлять экологически рациональное получение энергии из достаточно дешевого сырья.

Одной из возможных версий для сценария с битуминозным песком является наличие рассредоточенных производимых объемов тепла, электричества и водорода, приспособленных к потребностям закачивания в скважину (ГДЗП) и промышленных групп. Синтез-газ для распределенных блоков подают от центральной установки (фиг. 3А). Если это необходимо, производство водорода в рассредоточенных блоках может быть ограниченным или небольшим (например, 10-0%). Водород можно использовать для *in situ* переработки (как, например, в WO 2008/058400 A1: Catalytic down-hole upgrading of heavy oil sand bitumen), для подачи в качестве топлива в установки ТОГЭ с целью получения электричества или перекачивания по системе трубопроводов к перерабатывающей установке, расположенной на центральном предприятии.

Следует отметить, что в случае, когда нефтяной кокс образуется в количествах, недостаточных для проведения процесса, его можно объединить с другими углеродсодержащими видами топлива, например углем, необработанным битумом, биомассой или даже природным газом.

Фиг. 3b подобна фиг. 3а, но не включает картину в целом. Фиг. 3b иллюстрирует то положение, что части установки (составные части) можно распределить по конкретным местам в соответствии с существующими потребностями, в то время как другие части, а конкретно блок переработки, блок газификации и блок очистки (не показанные на фиг. 3b) могут быть расположены отдельно, в центральном местоположении, и обслуживать любое число рассредоточенных составных частей установки, таких как показанные на фиг. 3b.

Фиг. 4 иллюстрирует автономную биоэнергетическую установку, со сценарием интегрированной переработки биологического сырья.

Фиг. 4 указывает, каким образом объединенная установка для получения электроэнергии, тепла и водорода может давать необходимое тепло для централизованного отопления (и для пиролизной установки, если это необходимо), электричество для биоэнергетического предприятия в целом

/перерабатывающей биологическое сырье установки, а также водород для целей переработки (получения органических химических веществ и биодизеля), получения биометанола и водорода для транспортного сектора. Уловленный  $\text{CO}_2$  можно использовать в производстве биометанола, с обеспечением нейтрального по  $\text{CO}_2$  топлива для транспортного сектора, или для любого другого подходящего применения.

Синтез-газ и твердый углерод снабжают топливом систему получения энергии и водорода совместно с необходимой биомассой. Эта биомасса может также быть сырьем для пиролизной установки. Весь био- $\text{CO}_2$  улавливают, что дает двойное преимущество, если его применять экологически рациональным образом, или же если его хранить. К отдельным процессам, происходящим в квадратах в трех колонках, расположенных в левой части фиг. 4, не дают подробных разъяснений, поскольку они сами по себе не являются частью данного изобретения. Что важно в данном контексте - это как способ по данному изобретению позволяет создать тесное взаимодействие с такими процессами посредством обеспечения соответствующих количеств необходимой энергии в трех формах, несколько раз упомянутых выше.

Фиг. 5 иллюстрирует автономную систему получения энергии и водорода, интегрированную в установку получения биогаза.

Фиг. 5 показывает, каким образом установка для объединенного получения электроэнергии, тепла и водорода по данному изобретению может дать необходимое тепло для начального нагревания органических отходов/отстоя сточных вод, для целей сушки и другого использования на местах; электричество для установки производства биогаза в целом (включая необходимую энергию для улавливания  $\text{CO}_2$  из биогаза) и для продажи в локальную сеть; и водород для получения биометанола на основе  $\text{CO}_2$ , полученного из биогаза и/или от автономной системы получения энергии и водорода.

Биометан (из биогаза) можно использовать для получения водорода. Если, однако,  $\text{CO}_2$  отделяют от биогаза для получения метана, пригодного для транспортных нужд, этот метан наиболее вероятно можно непосредственно использовать в транспортном секторе. Топливо или синтез-газ для установки получения энергии в виде водорода можно получить из подходящей биомассы. И снова, весь био- $\text{CO}_2$  улавливают, что дает двойное преимущество при применении или хранении. И снова, отдельные процессы в левой части чертежа в данном описании подробно не разъясняют, поскольку сами по себе они не являются частью данного изобретения. Интересной частью данного контекста является возможность приспособить способ по данному изобретению к таким сложным системам энергоемких перерабатывающих установок, обеспечивая устойчивую доставку энергии в формах, необходимых для каждого процесса.

Таким образом, в целом производственная установка для интегрированного устройства по извлечению и переработке битума на основе газификации, основанная на данном изобретении, может достигать оптимального сочетания необходимых количеств тепла, электричества и водорода, удовлетворяющего проект для любой тяжелой нефти/битума. Кроме того, процесс в целом является энергетически самодостаточным процессом на основе синтез-газа, полученного из газифицированного нефтяного кокса/переработанного остатка (или непереработанного битума), с интегрированным, чрезвычайно энергетически эффективным улавливанием  $\text{CO}_2$ .

Также следует отметить, что гибкость или изменчивость системы в целом также применима к изменениям, в которых первичным источником энергии для этих целей является материал, содержащий уголь, биомассу или органические отходы, или любой другой содержащий углерод материал.

В некоторых примерах воплощения данного изобретения углеродсодержащим материалом является синтез-газ. В других предпочтительных примерах воплощения углеродсодержащим материалом является природный газ или другие газы, обогащенные метаном.

Синтез-газ и/или природный газ можно получить из любого источника, но предпочтительно, чтобы он, по меньшей мере частично, был получен путем добычи и переработки тяжелой нефти, битума или других содержащих углерод топлив, при этом потребности в тепле для переработки, по меньшей мере частично, обеспечивает по меньшей мере один ТОТЭ. Упомянутая переработка обычно включает газификацию.

В зависимости от типа поглотителя, применяемого в реакторной системе получения газообразного водорода, обычно в реакторную систему, совместно с газообразным сырьем подают воду, хотя нет необходимости объединять или смешивать эти два потока перед загрузкой их в реакторную систему.

Тепло, необходимое для реактора регенерации реакторной системы получения газообразного водорода, обычно, по меньшей мере частично, обеспечивают за счет по меньшей мере одного ТОТЭ.

В некоторых примерах воплощения синтез-газ, по меньшей мере частично, получают из биомассы, или его можно получить посредством реформинга природного газа.

В некоторых примерах воплощения углеродсодержащий газ представляет собой газ, обогащенный метаном ("природный газ"), полученный из одного или большего количества источников биомассы и органических отходов. Часть природного газа, загружаемая в первичный ТОТЭ, может в некоторых примерах воплощения сначала быть подвергнута реформингу до синтез-газа.

Для того чтобы получить желаемую изменчивость процесса, отношение между первым потоком газообразного сырья и вторым потоком газообразного сырья устанавливают в соответствии с потребностью в водороде в рассматриваемом применении.

Реакторную систему для получения газообразного водорода выбирают из а) реакторной системы,

содержащей два реактора, соединенных параллельно, при этом каждый из них работает попеременно в производственном режиме и в режиме регенерации поглотителя соответственно; и б) реакторной системы, содержащей два реактора, соединенных последовательно, при этом первый реактор постоянно работает в производственном режиме, а второй реактор постоянно работает в режиме регенерации поглотителя.

Температуру в производственном режиме реакторной системы получения газообразного водорода обычно поддерживают между 500 и 650°C. Температуру в режиме регенерации поглотителя обычно поддерживают между 800 и 950°C. Давление в режиме регенерации поглотителя поддерживают на более низком уровне, чем давление в производственном режиме.

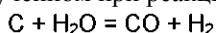
В предпочтительной версии данного изобретения необходимое тепло, электроэнергия и водород поступают от устройства ТОТЭ, вырабатывающего совместно тепло и электроэнергию, использующего в качестве топлива непосредственно синтез-газ, объединенного с отдельным блоком получения водорода, работающим на основе синтез-газа в качестве сырья. В блоке получения водорода  $\text{CO}_2$  улавливают поглотителем  $\text{CO}_2$  (например,  $\text{CaO}$ ), в то время как  $\text{CO}_2$  из устройства ТОТЭ, вырабатывающего совместно тепло и электроэнергию, улавливают энергетически и экономически эффективным способом дожигания. (Возможным вариантом является использование водорода в качестве топлива или сырья для предназначенной для этого части комплекта ТОТЭ).

Количественные примеры.

Нижеприведенная таблица иллюстрирует гибкость данного способа

Доля, поступающая в реактор получения $\text{H}_2$	Использование топлива в топливном элементе	Напряжение элемента	Полученная энергия (относительные количества)		
			Электроэнергия, %	$\text{H}_2$ , %	Тепло, %
0,1	0,45	0,6	24	13	63
0,1	0,7	0,65	40	13	47
0,1	0,9	0,85	67	13	20
0,26	0,45	0,6	20	33	47
0,26	0,7	0,65	33	33	34
0,26	0,9	0,85	55	33	12
0,5	0,45	0,6	13	63	24
0,5	0,9	0,7	31	63	0
0,7	0,6	0,6	8	89	4
0,7	0,6	0,6	11	89	0

Расчеты основаны на синтез-газе, полученном при реакции углерода с водой:



Производство электроэнергии задано уравнением:

$$\text{производство электроэнергии} = 4 \cdot F \cdot \text{напряжение элемента} \cdot \text{использование топлива в топливном элементе} \cdot (1 - \text{отведенное количество}),$$

где F - постоянная Фарадея;

отведенное количество - доля, направленная в реактор образования газообразного водорода.

Производство водорода задано уравнением:

$$\text{производство водорода} = (\text{отведенное количество}) \cdot 2 \cdot dN_{\text{H}_2},$$

где  $dN_{\text{H}_2}$  - теплотворная способность  $\text{H}_2$ .

Чистое получение тепла задано уравнением:

$$\text{тепло} = dN_{\text{C}} - \text{производство электричества} - \text{производство водорода},$$

где  $dN_{\text{C}}$  - теплотворная способность углерода.

Вышеприведенные примеры иллюстрируют гибкость устройства по данному изобретению, не определяя его границ. Следовательно, показано изменение производства тепла (относительно) от 0 до 63% от общей полученной энергии; диапазон изменения относительного получения  $\text{H}_2$  от 13 до 89%, в то время как энергия в форме электричества проиллюстрирована в относительных количествах от 8 до 67%.

Описанный способ обеспечивает экологически рациональное и уникально гибкое получение энергии из ряда энергетических ресурсов, от которых человек будет зависеть в обозримом будущем; у которого способность улавливать и контролировать весь производимый  $\text{CO}_2$  является одним из существенных - хотя и не решающих - аспектов.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ одновременного получения электрической энергии, газообразного водорода и тепла, при этом способ включает:

- i) непрерывное разделение потока газа, содержащего синтез-газ или газ, обогащенный метаном, или любую их комбинацию, на первый газообразный поток сырья и второй газообразный поток сырья;
- ii) загрузку первого газообразного потока сырья в первичный твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ) для получения электричества, тепла и  $\text{CO}_2$ ;
- iii) загрузку второго газообразного потока сырья совместно с водой в реакторную систему получения газообразного водорода для получения водорода с помощью реакции конверсии  $\text{CO}$ ;
- iv) улавливание  $\text{CO}_2$ , образованного в реакторной системе получения газообразного водорода, путем использования поглотителя;
- v) подачу тепла в реакторную систему получения газообразного водорода для регенерации поглотителя с получением диоксида углерода, по меньшей мере частично, за счет тепла, выработанного по меньшей мере в одном ТОТЭ.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает загрузку по меньшей мере части полученного газообразного водорода в другой ТОТЭ для получения электричества и тепла, таким образом уменьшая общее количество полученного газообразного водорода и улавливания  $\text{CO}_2$ , образованного в первичном ТОТЭ, путем сжигания газов из дожигателя в чистом кислороде и сушки отходящего газа.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что используют синтез-газ, по меньшей мере частично, полученный путем добычи и переработки тяжелой нефти, битума или других содержащих углерод топлив, при этом тепло, необходимое для переработки, по меньшей мере частично, обеспечивают за счет по меньшей мере одного ТОТЭ.

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что остаточные продукты от переработки подвергают газификации.

5. Способ по п.2, отличающийся тем, что синтез-газ, по меньшей мере частично, получают из биомассы.

6. Способ по п.2, отличающийся тем, что синтез-газ получают путем риформинга природного газа, при этом тепло, необходимое для риформинга, по меньшей мере частично, обеспечивают за счет по меньшей мере одного из указанных ТОТЭ.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что газ представляет собой природный газ.

8. Способ по п.6 или 7, отличающийся тем, что природный газ получают по меньшей мере из одного из источников - биомассы и органических отходов.

9. Способ по п.6, отличающийся тем, что часть природного газа, загружаемую в первичный ТОТЭ, сначала подвергают риформингу до синтез-газа, при этом тепло, необходимое для проведения риформинга, по меньшей мере частично, обеспечивают за счет по меньшей мере одного ТОТЭ.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что реакторную систему получения газообразного водорода выбирают из а) реакторной системы, включающей два параллельно соединенных реактора, каждый из которых попеременно работает в производственном режиме и в режиме регенерации поглотителя соответственно; и б) реакторной системы, включающей два последовательно соединенных реактора, при этом первый реактор постоянно работает в производственном режиме, а второй реактор постоянно работает в режиме регенерации поглотителя.

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что температуру в производственном режиме поддерживают между  $500$  и  $650^\circ\text{C}$ .

12. Способ по п.10, отличающийся тем, что температуру в режиме регенерации поглотителя поддерживают между  $800$  и  $950^\circ\text{C}$ .

13. Способ по п.10, отличающийся тем, что давление в режиме регенерации поглотителя поддерживают на более низком уровне, чем давление в производственном режиме.

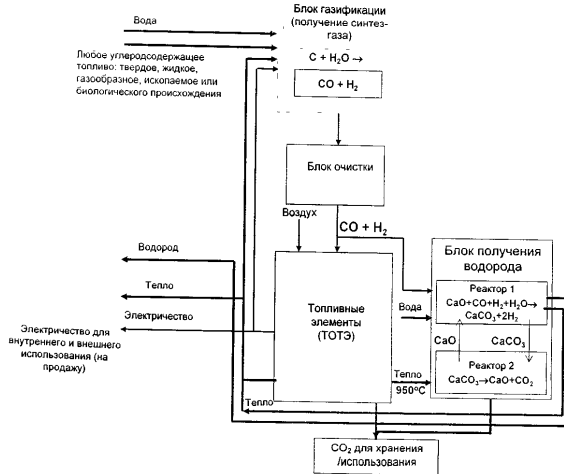
14. Устройство для одновременного получения электричества, газообразного водорода и тепла для осуществления способа по пп.1-13, отличающееся тем, что оно включает

- средства подачи углеродсодержащего газа;
- средства разделения углеродсодержащего газа на две части с различными относительными количествами;
- твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ), организованный для приема углеродсодержащего газа, выбранного из синтез-газа и природного газа, для получения электричества, тепла и  $\text{CO}_2$ , подключенный к первой части углеродсодержащего газа;
- реакторную систему получения газообразного водорода (организованную параллельно с ТОТЭ), подключенную ко второй части углеродсодержащего газа;
- средства для подачи тепла, полученного в ТОТЭ, в реакторную систему получения газообразного водорода и для внешних потребностей;
- средства распределения электричества, полученного в ТОТЭ, для внутренних и внешних потребно-

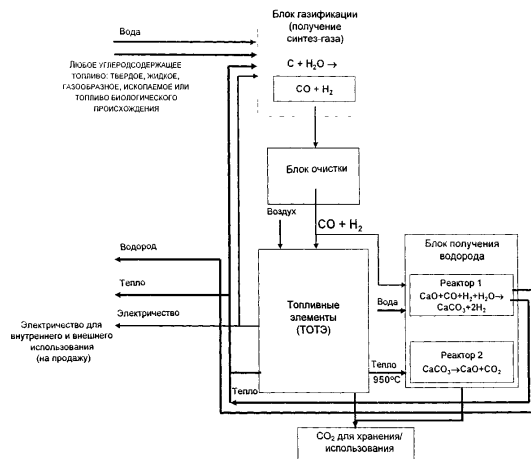
стей;

средства распределения полученного водорода для внутренних и внешних потребностей;  
 средства улавливания  $\text{CO}_2$ , образованного в реакторной системе получения газообразного водорода.

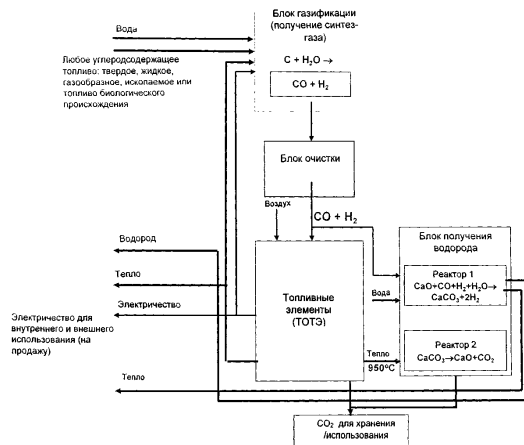
15. Устройство по п.14, отличающееся тем, что оно дополнительно включает средства улавливания  $\text{CO}_2$ , образованного в ТОТЭ, и/или еще один ТОТЭ, организованный для приема водорода с целью получения электричества и тепла.



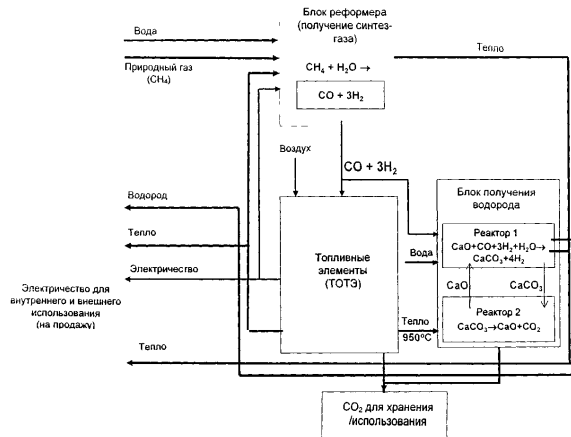
Фиг. 1а



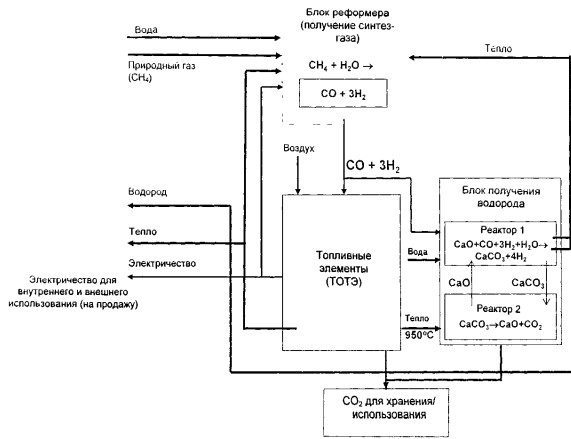
Фиг. 1б



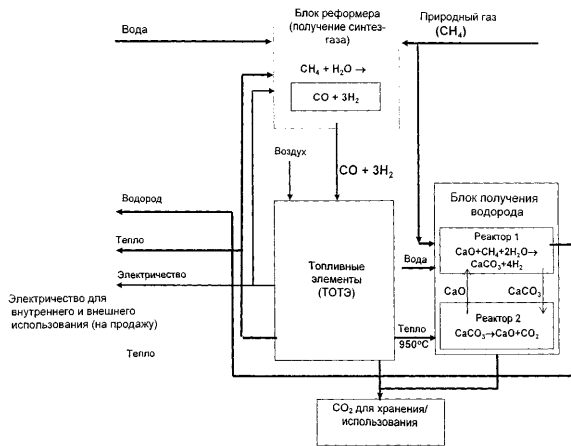
Фиг. 1с



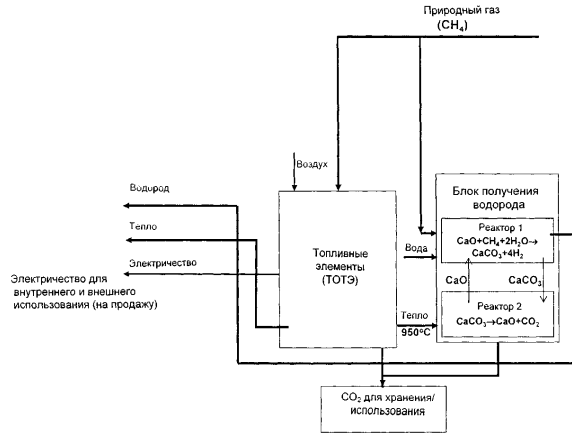
Фиг. 2а



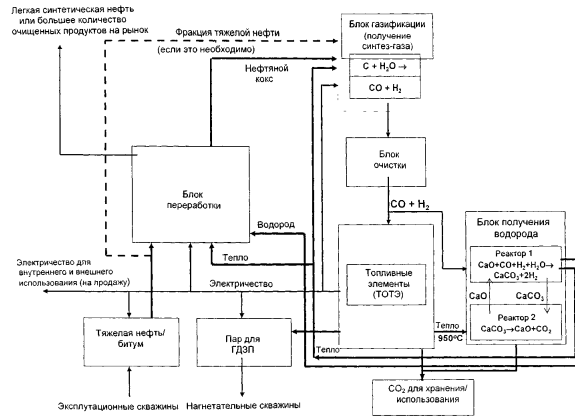
Фиг. 2б



Фиг. 2с

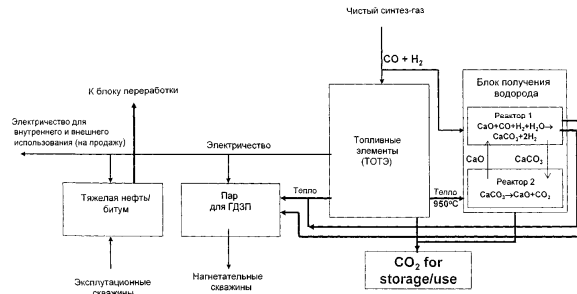


Фиг. 2d

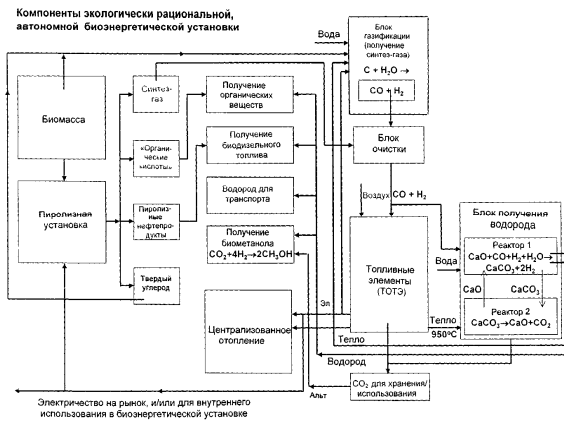


Фиг. 3a

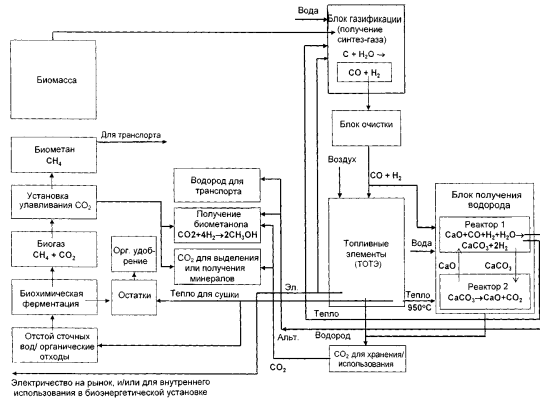
Распределенное производство тепла, электричества и водорода



Фиг. 3b



Фиг. 4



Фиг. 5

