

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047670**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.08.22**

(21) Номер заявки  
**202391971**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.01.07**

(51) Int. Cl. **C01B 3/56** (2006.01)  
**C01B 3/50** (2006.01)  
**B01D 53/047** (2006.01)

---

(54) **ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ  
МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ И УСТАНОВКИ АДСОРБЦИИ СО СДВИГОМ  
ДАВЛЕНИЯ И/ЛИ УСТАНОВКИ КРИОГЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ**

---

(31) **63/135,432**

(32) **2021.01.08**

(33) **US**

(43) **2023.09.06**

(86) **PCT/US2022/011662**

(87) **WO 2022/150619 2022.07.14**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЛАММУС ТЕКНОЛОДЖИ ЭлЭлСи**  
**(US)**

(72) Изобретатель:  
**Тевари Шекхар, Веннер Рональд М.,**  
**Пандитрао Сунил, Малоуни Деннис**  
**(US)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

(56) **US-A1-20100129284**  
**US-A1-20120141367**  
**US-A1-20140058002**  
**US-B1-6589303**  
**EP-B1-2432732**

---

(57) Предложены способы и системы для извлечения водорода, которые могут включать подачу потока газа, содержащего водород и дополнительные газы, в установку адсорбции со сдвигом давления (PSA) и подачу потока мембранного пермеата, содержащего водород, в установку PSA. В установке PSA часть водорода может быть отделена от дополнительных газов с получением потока продукта - водорода - и потока остаточного газа PSA, содержащего неотделенный водород и дополнительные газы. Поток остаточного газа PSA может быть подан в устройство мембранного разделения для отделения водорода от дополнительных газов и отведения (i) потока мембранного пермеата, содержащего водород и подаваемого в установку PSA, и (ii) потока мембранного остаточного газа, содержащего дополнительные газы. Описываемые варианты осуществления могут дополнительно включать установку охлаждения для частичной конденсации одного или обоих потоков: потока исходного газа и потока остаточного газа PSA и, тем самым, повышения эффективности мембранного разделения.

---

**047670**  
**B1**

**047670**  
**B1**

### Область техники

Варианты осуществления настоящего изобретения относятся, вообще, к области извлечения водорода из газовых потоков.

### Уровень техники

Во множестве нефтехимических процессов используется или образуется водород ( $H_2$ ), а непрореагировавший или образовавшийся водород, как правило, извлекают с целью рециркуляции или использования на нефтехимическом заводе. В настоящее время водород обычно извлекают из смеси газов с использованием установки адсорбции со сдвигом давления (pressure swing adsorption, PSA) или установки криогенного разделения, при этом образующийся остаточный газ направляют в коллектор топливного газа.

PSA и криогенному разделению свойственны технологические ограничения в отношении максимального количества  $H_2$ , которое может быть извлечено. В потоке остаточного газа всегда теряется некоторое количество водорода. Главным недостатком указанных процессов является потеря водорода с малоценным потоком, из-за чего увеличиваются общие эксплуатационные издержки установки.

### Сущность изобретения

В соответствии с раскрываемыми вариантами осуществления изобретения, газоразделительные мембраны используют в сочетании с PSA и/или криогенным разделением с целью извлечения большего количества водорода и сведения к минимуму потерь ценного водорода с потоком малоценного топливного газа. Дополнительное извлечение водорода может приносить значительную выгоду с точки зрения экономии эксплуатационных расходов. Кроме этого, в образующемся остаточном газе концентрируется диоксид углерода ( $CO_2$ ), благодаря чему улавливание углерода из потока остаточного газа становится более эффективным и рентабельным.

В одном из аспектов, раскрываемые варианты осуществления изобретения относятся к способу извлечения водорода. Способ извлечения водорода может включать подачу потока газа, содержащего водород и дополнительные газы, в установку адсорбции со сдвигом давления (PSA) и подачу потока мембранного пермеата, содержащего водород, в установку PSA. В установке PSA часть водорода может быть отделена от дополнительных газов с отведением потока продукта - водорода - и потока остаточного газа PSA, содержащего неотделенный водород и дополнительные газы. Поток остаточного газа PSA может быть подан в устройство мембранного разделения с целью отделения водорода от дополнительных газов и отведения (i) потока мембранного пермеата, содержащего водород и подаваемого в установку PSA, и (ii) потока мембранного остаточного газа, содержащего дополнительные газы.

В некоторых вариантах осуществления изобретения способ может дополнительно включать сжатие потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления по технологическому потоку до устройства мембранного разделения. В некоторых вариантах осуществления изобретения способ может дополнительно включать сжатие потока мембранного пермеата по технологическому потоку до установки адсорбции со сдвигом давления. Варианты осуществления описываемого способа могут дополнительно включать частичную конденсацию одного или обоих потоков: потока исходного газа и потока остаточного газа PSA.

В другом аспекте, раскрываемые варианты осуществления изобретения относятся к системам, предназначенным для извлечения водорода. Эти системы могут включать трубопровод для подачи газового потока, содержащего водород и дополнительные газы, в установку адсорбции со сдвигом давления и трубопровод для подачи потока мембранного пермеата, содержащего водород, в установку адсорбции со сдвигом давления. Система также включает установку адсорбции со сдвигом давления, которая может предназначаться для отделения части водорода от дополнительных газов и отведения потока продукта - водорода - и потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления, содержащего неотделенный водород и дополнительные газы. Может быть предусмотрено наличие трубопровода для подачи потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления в устройство мембранного разделения, которое может предназначаться для отделения водорода от дополнительных газов и отведения (i) потока мембранного пермеата, содержащего водород и подаваемого в установку адсорбции со сдвигом давления, и (ii) потока мембранного остаточного газа, содержащего дополнительные газы.

В некоторых вариантах осуществления изобретения система также может включать компрессор для сжатия потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления по технологическому потоку до устройства мембранного разделения. В некоторых вариантах осуществления изобретения система может дополнительно включать компрессор для сжатия потока мембранного пермеата по технологическому потоку до установки адсорбции со сдвигом давления. Описываемые варианты осуществления могут дополнительно включать установку охлаждения/разделения для частичной конденсации одного или обоих потоков: потока исходного газа и потока остаточного газа PSA.

Другие аспекты и преимущества изобретения станут ясны из нижеследующего описания и прилагаемой формулы изобретения.

### Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлена упрощенная технологическая схема типичной установки адсорбции со сдвигом давления.

На фиг. 2 и 3 представлены упрощенные технологические схемы интегрированных систем извлечения водорода в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления изобретения, раскрываемыми в настоящем документе.

### Подробное описание изобретения

Раскрываемые варианты осуществления изобретения направлены на извлечение водорода из потоков смесей газов, таких как, помимо прочего, потоки технологического газа, отработанного газа, отходящего газа или остаточного газа нефтехимических процессов. Потоки смесей газов, поступающие с целью извлечения из них водорода, могут содержать, наряду другими компонентами, например, водород, диоксид углерода, монооксид углерода, сероводород, оксиды серы, азот, кислород, метан, этан, этилен и/или пропан. Хотя указаны потоки, образующиеся в нефтехимических процессах, описываемые варианты осуществления изобретения могут быть применены в отношении любого содержащего водород потока газа, из которого нужно извлечь водород.

В соответствии с современным уровнем техники, для извлечения  $H_2$  из технологических потоков или потоков отработанного газа используют обособленные установки PSA. Описываемые варианты осуществления изобретения предусматривают интеграцию PSA и мембранного устройства или интеграцию PSA, криогенного разделения и мембранных устройств с целью повышения общей степени извлечения  $H_2$ . Таким образом, варианты осуществления изобретения отличаются от современного уровня техники с точки зрения степени извлечения  $H_2$  и конфигурации системы извлечения.

В соответствии с вариантами осуществления изобретения, описываемые системы, включающие мембранные устройства и PSA, могут быть установлены на газовых потоках с целью извлечения  $H_2$ , обычно утрачиваемого в потоке остаточного газа. Мембранный пермеат может быть рециркулирован установку PSA для дополнительного извлечения  $H_2$ . В некоторых вариантах осуществления изобретения для повышения качества потока, подаваемого в мембранные устройства, может быть применено криогенное разделение.

Упрощенная технологическая схема типичной установки PSA известного уровня техники представлена на фиг. 1. Поток 10 технологического газа или отработанного газа, который может представлять собой любой газовый поток, из которого нужно извлечь  $H_2$ , может быть при надлежащем давлении подан в установку 12 PSA для извлечения продукта 14 - водорода. Оставшиеся газы, включая неизвлеченный  $H_2$ , отводят как поток 16 остаточного газа, который обычно используют в качестве топливного газа на той же установке. Как указано выше, общая степень извлечения водорода в установке PSA такова, что неизбежны значительные потери водорода с потоком 16 остаточного газа. Установки PSA обычно обеспечивают извлечение 85-90% водорода, присутствующего в подаваемом потоке, тогда как остальное количество водорода постоянно утрачивается с потоком остаточного газа.

Благодаря настоящему изобретению возможно повышение степени извлечения  $H_2$  из потока остаточного газа путем надлежащей интеграции мембранного разделения в систему извлечения. Остаточный газ может быть при соответствующем давлении подан в устройство мембранного разделения. Если нужно, для сжатия газа до давления, требуемого в мембранном устройстве для достижения целевой степени извлечения и чистоты  $H_2$ , может быть применен компрессор. Обогащенный водородом поток пермеата может быть рециркулирован из мембранного устройства в установку PSA для дополнительного извлечения  $H_2$  в конечном продукте PSA, тогда как ретентат мембранного устройства может быть выведен из системы в потоке остаточного газа и использован в качестве топливного газа, направлен на улавливание углерода или использован с другой целью.

Обратимся к фиг. 2, на который приведена упрощенная технологическая схема системы извлечения водорода в соответствии с описываемыми вариантами осуществления изобретения. Поток 1, 2 технологического или отработанного газа, который может представлять собой любой газовый поток, из которого нужно извлечь  $H_2$ , может быть подан при надлежащем давлении, как то от 25 до 35 бар изб., в установку 22 PSA для разделения на продукт 3 - водород - и оставшиеся газы 4.

Оставшиеся газы, включая неизвлеченный  $H_2$ , могут быть поданы как поток 4 в устройство 24 мембранного разделения. Если нужно, для повышения давления оставшихся газов в потоке 4 может быть использован компрессор 26, позволяющий получить поток 5 оставшихся газов повышенного давления, который может быть подан в устройство 24 мембранного разделения. Например, оставшиеся газы могут быть отведены в потоке 4 при давлении, лежащем в диапазоне от 1 до 5 бар изб., затем давление оставшихся газов может быть увеличено до давления в диапазоне от 10 до 20 бар изб. с образованием потока 5, подаваемого в устройство 24 мембранного разделения.

В устройстве 24 мембранного разделения для отделения водорода от других газов, присутствующих в потоке 4, 5 оставшихся газов, используют мембрану. Содержащий водород пермеат может быть отведен как поток 7, тогда как поток ретентата, т.е., газов, которые не прошли сквозь мембрану, может быть отведен как поток 6 остаточного газа. Содержащий водород пермеат 7 затем может быть рециркулирован в установку 22 адсорбции со сдвигом давления наряду с исходным потоком 1 с целью

извлечения водорода. Если нужно, для повышения давления водорода в потоке 7 пермеата может быть применен компрессор 28, позволяющий получить поток 8 пермеата повышенного давления, который может быть подан в установку 22 PSA. Например, обогащенный водородом поток пермеата 7 может быть отведен из устройства 24 мембранного разделения при давлении в диапазоне от 1 до 2 бар изб. и рециркулирован в установку PSA для дополнительного извлечения водорода в потоке продукта. Поток ретентата, поток 6 остаточного газа, может быть отведен при более высоком давлении, например, в диапазоне от 8 до 18 бар изб. Поток остаточного газа, образующийся в системе, может быть использован в качестве топливного газа, направлен на улавливание углерода или использован с другой целью.

Хотя мембраны могут предназначаться, в первую очередь, для извлечения в пермеате  $H_2$ , наряду с  $H_2$  в поток 7 пермеата могут поступать некоторые другие газы. Эти газы накапливаются в устройстве до равновесной концентрации и в конечном счете извлекаются в установке PSA и в результате выводятся из системы с потоком 6 остаточного газа.

В устройстве 24 мембранного разделения может быть извлечено от 70% до 90% водорода, присутствующего в потоке 4 после PSA, в результате чего общая степень извлечения водорода в системах, подобных представленной на фиг. 2, лежит в диапазоне от 96 до 99%.

В некоторых вариантах осуществления изобретения технологические или отработанные газы могут содержать конденсирующиеся компоненты, как то легкие углеводороды (метан, этан и т.д.) или другие, более тяжелые газы. В некоторых из таких вариантов осуществления изобретения может быть применено криогенное разделение потока остаточного газа установки PSA с целью конденсации более тяжелых углеводородов, тогда как более легкий остаток может быть подвергнут обработке в мембранном устройстве. В результате обработки в мембранном устройстве потока более чистого  $H_2$  может быть достигнута более высокая степень извлечения и чистоты  $H_2$ . При более высокой степени чистоты  $H_2$  мембранное устройство может функционировать при меньшем давлении, обеспечивая ту же степень извлечения, что и в конфигурациях без охладителей. Другим выгодным следствием наличия криогенного разделения может стать снижение концентрации компонентов, которые могут оказывать влияние на функционирование мембран или несовместимы с материалом мембраны.

Теперь обратимся к фиг. 3, на которой представлена упрощенная технологическая схема системы, включающей устройства криогенного разделения, PSA и мембранного разделения и предназначенной для извлечения водорода в соответствии с описываемыми вариантами осуществления изобретения, при этом аналогичные элементы обозначены одинаковыми номерами позиций.

Как и в варианте осуществления, представленном на фиг. 2, поток 1, 2 технологического или отработанного газа, который может представлять собой любой газовый поток, из которого нужно извлечь  $H_2$ , может быть подан при надлежащем давлении в установку 22 PSA для извлечения продукта 3 - водорода. Оставшиеся газы, включая неизвлеченный  $H_2$ , могут быть направлены как поток 4 в устройство 24 мембранного разделения. В устройстве 24 мембранного разделения для отделения водорода от других газов, присутствующих в потоке 4 оставшихся газов, используют мембрану. Содержащий водород пермеат может быть отведен как поток 7, тогда как поток ретентата, т.е., газов, которые не прошли сквозь мембрану, может быть отведен как поток 6 остаточного газа. Содержащий водород пермеат 7 может быть объединен с потоком 1 технологического или отработанного газа и рециркулирован по линии 2 в установку 22 адсорбции со сдвигом давления для извлечения водорода.

Для повышения степени разделения в установке 22 PSA и устройстве 24 мембранного разделения может быть применена установка 31 криогенного разделения. Исходный газовый поток 32, такой как поток обедненного технологического газа или отработанного газа, содержащий водород и конденсирующиеся компоненты, например, легкие углеводороды, может быть охлажден в охладителе 33, обеспечивающем снижение температуры газового потока 32 и конденсацию части конденсирующихся компонентов. Образовавшийся охлажденный поток 35 может быть подан в разделитель 37 газожидкостной смеси, например, сепаратор низкого давления, дистилляционную колонну и т.п. для отделения от газа каких-либо сконденсировавшихся компонентов. Сконденсировавшиеся компоненты могут быть отведены как жидкий кубовый поток 39, несконденсировавшийся газ может быть отведен как головной поток 41. Головной поток 41 затем может быть пропущен через охладитель 33 с получением потока 1 технологического газа или отработанного газа, подаваемого в установку 22 PSA.

Помимо неизвлеченного водорода, поток 4 остаточного газа PSA может также содержать конденсирующиеся компоненты, например, какие-либо легкие углеводороды, которые не сконденсировались и не были извлечены в разделителе 37 газожидкостной смеси. Поток 4 остаточного газа PSA может быть охлажден с целью конденсации, по меньшей мере, части конденсирующихся компонентов и подан во второй разделитель 43 газожидкостной смеси для разделения на второй головной поток 49 и второй кубовый поток 50.

Охлаждение потока остаточного газа PSA может быть осуществлено, например, посредством перекрестного теплообмена в охладителе 33 и/или втором охладителе 45. В некоторых вариантах осуществления изобретения поток остаточного газа PSA сначала пропускают через охладитель 33, затем подают как поток 47 в охладитель 45 и проводят перекрестный теплообмен с головным потоком 49 второго разделителя 43 газожидкостной смеси. После осуществления теплообмена охлажденный поток

51 остаточного газа PSA может быть подан во второй разделитель 43 газожидкостной смеси для отделения сконденсировавшихся компонентов, отводимых по линии 50, от несконденсировавшихся компонентов остаточного газа PSA, отводимых в головном потоке 49.

После перекрестного теплообмена в охладителе 45 и/или охладителе 33 головной поток 49 (несконденсировавшийся остаточный газ PSA) может быть подан как поток 55 в устройство 24 мембранного разделения и подвергнут описанной выше обработке. Сконденсировавшиеся компоненты, отводимые из разделителей 37, 43 по линиям 39, 50, могут быть объединены с получением объединенного потока 57 конденсата. Объединенный поток 57 конденсата может быть дросселирован или иным образом использован для теплообмена в охладителе 33 и отведен в форме потока 59 продукта - топливного газа.

Хотя на фиг. 3 это не показано, в один или оба охладителя 33, 45 может быть подан поток хладагента для обеспечения желаемого охлаждения заданных потоков. Дополнительно или в качестве альтернативы, давление различных потоков может быть увеличено и/или уменьшено для достижения заданной степени охлаждения в охладителях 33, 45, обеспечивающей частичную конденсацию.

Как один из возможных примеров, поток 32 обедненного технологического газа с давлением 20-30 бар изб. охлаждают в охладителе 33 до температуры от  $-37^{\circ}\text{C}$  до  $-60^{\circ}\text{C}$  с использованием надлежащего хладагента, такого как пропилен и/или этилен, или любого сочетания ступеней охлаждения, обеспечиваемого потоком хладагента или технологическими потоками. Затем охлажденный исходный поток 35 может быть подвергнут мгновенному испарению в разделителе 37 газожидкостной смеси, функционирующем при давлении 20-30 бар изб. Газ 41 из разделителя может быть снова нагрет до температуры в диапазоне  $35-45^{\circ}\text{C}$ , а затем направлен по линии 1, 2 в установку 22 PSA, предназначенную для получения потока 3 продукта - водорода.

Оставшийся газ 4 из установки 22 PSA дополнительно охлаждают в последовательных охладителях при помощи метана/пропилена/этилена или любого сочетания ступеней охлаждения до температуры в диапазоне от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $-98^{\circ}\text{C}$ . Например, оставшийся газ 4 может быть сначала охлажден в охладителе 33 и дополнительно охлажден в охладителе 45 с получением потока 51 охлажденного оставшегося газа. Поток 51 оставшегося газа затем подвергают мгновенному испарению в разделителе 43 газожидкостной смеси. Газ из разделителя 43 снова нагревают до температуры  $35-45^{\circ}\text{C}$  в теплообменниках/охладителях 45, 33 и направляют по линии 55 в устройство 24 мембранного разделения. Обогащенный водородом пермеат 7, полученный в устройстве 24 мембранного разделения, сжимают и рециркулируют в установку 22 PSA для дополнительного извлечения водорода, тогда как ретентат 6 подают в форме потока остаточного газа системы в коллектор топливного газа.

Хотя на фиг. 3 показано два перекрестных теплообменника 33, 45 и два разделителя 37, 43 газожидкостной смеси, могут быть применены дополнительные теплообменники и разделители при более низкой температуре в зависимости от потребности в очистке  $\text{H}_2$  в оставшемся газе 4 установки PSA или необходимости повышения концентрации  $\text{H}_2$  в потоке 55, подаваемом в устройство 24 мембранного разделения.

Сочетание PSA, криогенного разделения и мембранного разделения в соответствии с описываемыми вариантами осуществления изобретения может обеспечить общую степень извлечения  $\text{H}_2$  в диапазоне 96-99%.

Включение криогенного разделения, как в варианте осуществления, показанном на фиг. 3, дает возможность сконденсировать более тяжелые углеводороды, тогда как легкий остаток, содержащий водород и другие несконденсировавшиеся компоненты, присутствующие в технологическом или отработанном газе, могут быть подвергнуты обработке в мембранном устройстве. В результате в мембранном устройстве обработке подвергается более чистый поток, что может обеспечить большую степень извлечения и чистоты  $\text{H}_2$ . При более высокой степени чистоты  $\text{H}_2$  мембранное устройство может функционировать при более низком давлении.

Во всех этих конфигурациях мембранное устройство может представлять собой одностадийное или многостадийное устройство в зависимости от требований в отношении степени чистоты  $\text{H}_2$  и степени извлечения  $\text{H}_2$  в мембранном пермеате. Степень чистоты и извлечения  $\text{H}_2$  на мембране оказывает влияние на общую степень извлечения  $\text{H}_2$  в интегрированной системе, включающей мембранное устройство и PSA.

Описываемые варианты осуществления изобретения также могут быть распространены на другие процессы извлечения  $\text{H}_2$ .  $\text{H}_2$  также извлекают путем криогенного разделения, в ходе которого для извлечения  $\text{H}_2$  используют хладагент. В таких вариантах осуществления мембранное устройство может быть применено с целью повышения степени извлечения  $\text{H}_2$  и, тем самым, снижения нагрузки на систему охлаждения с соответствующими выгодами с точки зрения рентабельности процесса.

Потоки 7 остаточного газа, образующиеся в процессах, показанных на фиг. 2 и 3, могут быть использованы, как указано выше, в качестве топливного газа или технологического газа в других процессах. В качестве альтернативы, потоки остаточного газа, содержащие монооксид углерода, диоксид углерода или другие углеродсодержащие молекулы, могут быть поданы в установку улавливания

углерода. Результатом более высокой степени извлечения водорода, обеспечиваемой описываемым в настоящем документе способом, может стать уменьшение количества остаточного газа, поступающего в установку улавливания углерода ниже по потоку. Кроме этого, меньшее количество или почти полное отсутствие водорода позволяет увеличить концентрацию диоксида углерода в потоке, поступающем в установку улавливания углерода, результатом чего является более эффективная декарбонизация. При более низкой концентрации (или меньшем количестве) водорода также возможно уменьшение размера технологических установок для улавливания углерода и, следовательно, снижение капитальных затрат на такие установки.

Как описано выше, в представленных вариантах осуществления изобретения для повышения степени извлечения водорода из потоков смеси газов используется PSA и/или криогенное разделение в сочетании с мембранным разделением. Повышение степени извлечения водорода обеспечивает экономию эксплуатационных затрат интегрированной системы за счет исключения потерь ценного водорода с малоценным топливным газом. Кроме того, это способствует повышению эффективности и уменьшению нагрузки на стадии декарбонизации остаточного газа (улавливания углерода из остаточного газа).

Если не указано иное, используемые технические и научные термины имеют значение, обычно подразумеваемое специалистами в области техники, к которой относятся эти системы, устройства, способы, процессы и композиции.

Формы единственного числа (англ. язык) "a", "an" и "the" охватывают значение множественного числа, если контекст явно не указывает на обратное.

В настоящем описании и прилагаемой формуле изобретения слова "содержит", "имеет" и "включает" и все их грамматические формы, в каждом случае, подразумевают открытое, не ограничивающее значение, не исключающее дополнительные элементы или стадии.

"Необязательно" означает, что описываемое далее событие или обстоятельство могут иметь место или нет. Это описание включает случаи, когда событие или обстоятельство наступает, и случаи, когда оно отсутствует.

При использовании термина "приблизительно" или "около" этот термин может означать, что может иметь место отклонение величины до  $\pm 10\%$ , до  $5\%$ , до  $2\%$ , до  $1\%$ , до  $0,5\%$ , до  $0,1\%$  или до  $0,01\%$ .

Диапазоны могут быть выражены как "от, примерно, одной конкретной величины до, примерно, другой конкретной величины, включительно". Такое указание диапазона означает, что в другом варианте осуществления это "от одной конкретной величины до другой конкретной величины наряду со всеми конкретными величинами и сочетаниями величин в этом диапазоне".

Хотя в описании представлено ограниченное число вариантов осуществления изобретения, специалистам в данной области, использующим настоящее описание, понятно, что возможны другие варианты осуществления, не выходящие за рамки объема настоящего описания. Следовательно, объем изобретения ограничивается только прилагаемой формулой изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения водорода, включающий следующие стадии, на которых:
  - подают газовый поток, содержащий водород и дополнительные газы, в установку адсорбции со сдвигом давления;
  - подают поток мембранного пермеата, содержащий водород, в установку адсорбции со сдвигом давления;
  - в установке адсорбции со сдвигом давления отделяют часть водорода от дополнительных газов с отведением потока продукта - водорода - и потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления, содержащего неотделенный водород и дополнительные газы;
  - подают поток остаточного газа адсорбции со сдвигом давления в устройство мембранного разделения;
  - отделяют в устройстве мембранного разделения водород от дополнительных газов с отведением (i) потока мембранного пермеата, содержащего водород и подаваемого в установку адсорбции со сдвигом давления, и (ii) потока мембранного остаточного газа, содержащего дополнительные газы; и
  - частично конденсируют поток остаточного газа адсорбции со сдвигом давления с отведением потока конденсата остаточного газа PSA и газообразного потока остаточного газа PSA, и подают газообразный поток остаточного газа PSA как поток остаточного газа адсорбции со сдвигом давления в устройство мембранного разделения.
2. Способ по п.1, дополнительно включающий сжатие потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления по технологическому потоку до устройства мембранного разделения.
3. Способ по п.1, дополнительно включающий сжатие потока мембранного пермеата по технологическому потоку до установки адсорбции со сдвигом давления.
4. Способ по п.1, дополнительно включающий частичную конденсацию газового потока с отведением потока конденсата и потока газа и подачу потока газа в качестве исходного газового потока в уста-

новку адсорбции со сдвигом давления.

5. Способ по п.1, в котором давление газового потока, подаваемого в установку адсорбции со сдвигом давления лежит в диапазоне от 25 до 35 бар изб.

6. Способ по п.1, в котором поток остаточного газа адсорбции со сдвигом давления отводят из установки адсорбции со сдвигом давления при давлении в диапазоне от 1 до 5 бар изб. и сжимают до давления в диапазоне от 10 до 20 бар изб., после чего подают в устройство мембранного разделения.

7. Способ по п.1, в котором поток мембранного пермеата отводят из устройства мембранного разделения при давлении в диапазоне от 1 до 2 бар изб. и сжимают до давления в диапазоне от 25 до 35 бар изб. для подачи в установку адсорбции со сдвигом давления.

8. Способ по п.1, в котором поток остаточного газа отводят из устройства мембранного разделения при давлении в диапазоне от 8 до 18 бар изб.

9. Система для извлечения водорода, включающая:

трубопровод для подачи газового потока, содержащего водород и дополнительные газы, в установку адсорбции со сдвигом давления;

трубопровод для подачи потока мембранного пермеата, содержащего водород, в установку адсорбции со сдвигом давления;

установку адсорбции со сдвигом давления, предназначенную для отделения части водорода от дополнительных газов и отведения потока продукта - водорода - и потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления, содержащего неотделенный водород и дополнительные газы;

трубопровод для подачи потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления в устройство мембранного разделения;

устройство мембранного разделения, предназначенное для отделения водорода от дополнительных газов и отведения (i) потока мембранного пермеата, содержащего водород и подаваемого в установку адсорбции со сдвигом давления, и (ii) потока мембранного остаточного газа, содержащего дополнительные газы; и

установку охлаждения/разделения, предназначенную для частичной конденсации потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления с отведением потока конденсата остаточного газа PSA и газообразного потока остаточного газа PSA и подачи газообразного потока остаточного газа PSA в качестве потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления в устройство мембранного разделения.

10. Система по п.9, дополнительно включающая компрессор для сжатия потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления по технологическому потоку до устройства мембранного разделения.

11. Система по п.9, дополнительно включающая компрессор для сжатия потока мембранного пермеата по технологическому потоку до установки адсорбции со сдвигом давления.

12. Система по п.9, дополнительно включающая установку охлаждения/разделения для частичной конденсации газового потока с отведением потока конденсата и потока газа и трубопроводы для подачи потока газа в качестве исходного газового потока в установку адсорбции со сдвигом давления.

13. Система по п.12, где указанная установка охлаждения/разделения дополнительно предназначена, для

частичной конденсации потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления с отведением потока конденсата остаточного газа PSA и газообразного потока остаточного газа PSA и подачи газообразного потока остаточного газа PSA в качестве потока остаточного газа адсорбции со сдвигом давления в устройство мембранного разделения.

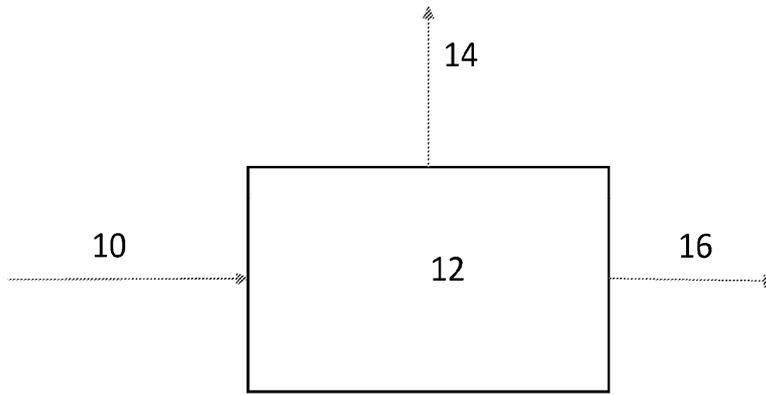
14. Система по п.13, в которой установка охлаждения/разделения включает:

перекрестный теплообменник, предназначенный для теплообмена между газовым потоком, потоком остаточного газа адсорбции со сдвигом давления, потоком газа, газообразным потоком остаточного газа PSA, смесью потока конденсата и потока конденсата остаточного газа PSA и хладагентом с образованием потока частично конденсированного газа;

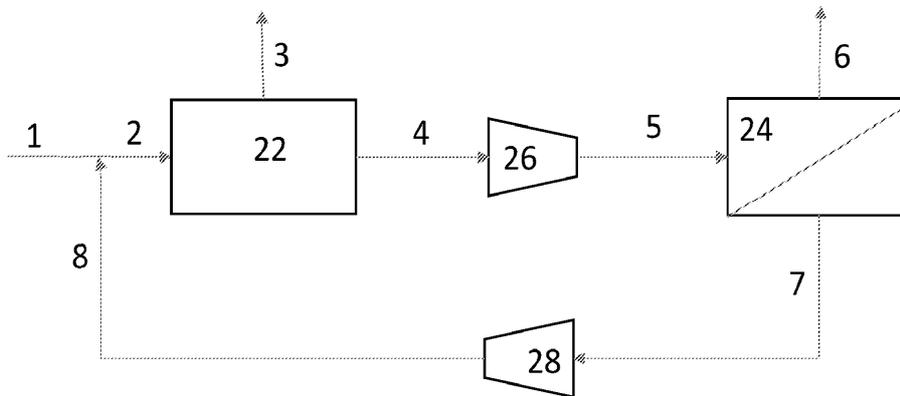
перекрестный теплообменник, предназначенный для теплообмена между потоком остаточного газа адсорбции со сдвигом давления и газообразным потоком остаточного газа PSA с образованием потока частично конденсированного остаточного газа адсорбции со сдвигом давления;

разделитель газожидкостной смеси, предназначенный для приема потока частично конденсированного газа, при этом в разделителе газожидкостной смеси имеется выпуск газа для отведения потока газа и выпуск жидкости для отведения потока конденсата; и

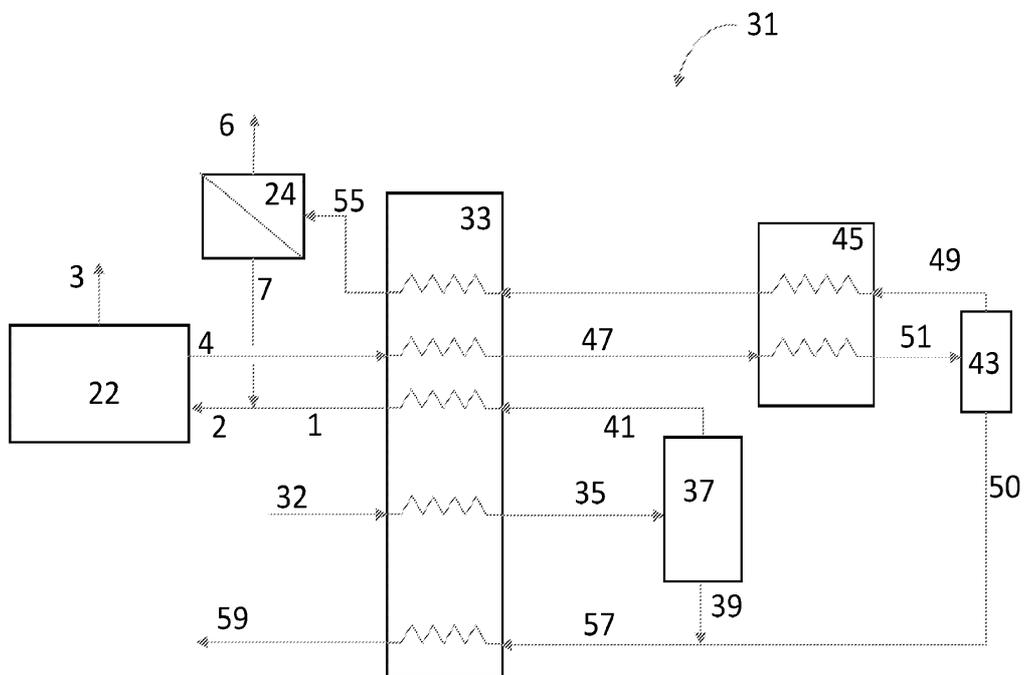
второй разделитель газожидкостной смеси, предназначенный для приема потока частично конденсированного остаточного газа адсорбции со сдвигом давления, при этом во втором разделителе газожидкостной смеси имеется выпуск газа для отведения газообразного потока остаточного газа PSA и выпуск жидкости для отведения потока конденсата остаточного газа PSA.



Фиг. 1 (Предшествующий уровень техники)



Фиг. 2



Фиг. 3