

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043578**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.06.01**

(21) Номер заявки  
**202191930**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.12.31**

(51) Int. Cl. **C01B 3/38** (2006.01)  
**C01B 3/50** (2006.01)  
**C10G 2/00** (2006.01)  
**C10G 70/04** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА ИЗ СИНТЕЗ-ГАЗА, ПРОИЗВЕДЕННОГО КАТАЛИТИЧЕСКИМ ЧАСТИЧНЫМ ОКИСЛЕНИЕМ, ИНТЕГРИРОВАННЫМ С КРЕКИНГОМ**

---

(31) **62/793,606**

(32) **2019.01.17**

(33) **US**

(43) **2021.09.28**

(86) **PCT/US2019/069067**

(87) **WO 2020/150005 2020.07.23**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЭНИ С.п.А. (IT)**

(72) Изобретатель:  
**Чинта Сивадинаярана (US),  
Нарайанасвами Равичандер, Пант  
Атул (IN)**

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

(56) **US-A1-20180362418  
US-A1-20100074829  
US-A1-20150336858  
WO-A1-2018202829  
EP-A2-0112613**

---

(57) Предложен способ производства синтез-газа и олефинов, включающий подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) (кислород, первые углеводороды, водяной пар) в реактор КЧО (катализатор КЧО); где смесь реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением выходящего потока реактора КЧО (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, вода, непрореагировавшие первые углеводороды); подачу сырья крекинг-установки (вторые углеводороды) в крекинг-установку с получением продукта крекинг-установки (олефинов), богатого водородом потока (водород, CH<sub>4</sub>) и потока извлечения углеводородов (C<sub>4+</sub> углеводороды); где первый и второй углеводороды являются одинаковыми или разными; извлечение обогащенного водородом потока (водород) и обогащенного углеводородами потока (CH<sub>4</sub>) из богатого водородом потока; и введение в контакт выходящего потока реактора КЧО с обогащенным водородом потоком с получением обогащенного водородом синтез-газа, и где отношение М ((H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>)/(CO+CO<sub>2</sub>)) обогащенного водородом синтез-газа больше, чем отношение М выходящего потока реактора КЧО.

---

**043578**  
**B1**

**043578**  
**B1**

### Область техники

Изобретение относится к способам производства метанола, более конкретно к способам производства метанола из синтез-газа, полученного путем каталитического частичного окисления (КЧО (CPO)) углеводородов, таких как метан.

### Уровень техники

Синтетический газ (синтез-газ) представляет собой смесь, содержащую монооксид углерода (CO) и водород (H<sub>2</sub>), а также небольшие количества диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), воды (H<sub>2</sub>O) и непрореагировавшего метана (CH<sub>4</sub>). Синтез-газ обычно используют в качестве промежуточного продукта при производстве метанола и аммиака, а также в качестве промежуточного продукта при создании синтетической нефти для использования в качестве смазочного материала или топлива. Синтез-газ обычно получают путем парового риформинга природного газа (паровой риформинг метана или ПРМ (SMR)), хотя для производства синтез-газа могут быть использованы другие углеводородные источники, такие как отходящие газы нефтеперерабатывающих заводов, сырье нефти, тяжелые углеводороды, каменный уголь, биомасса и др. ПРМ представляет собой эндотермический процесс и требует значительных затрат энергии для продвижения реакции. Традиционные эндотермические технологии, такие как ПРМ, дают синтез-газ с содержанием H<sub>2</sub> больше, чем требуется для синтеза метанола. Как правило, ПРМ дает синтез-газ с отношением M, находящимся в интервале от 2,6 до 2,98, где отношение M представляет собой молярное отношение, определяемое как (H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>)/(CO+CO<sub>2</sub>).

В процессе автотермического риформинга (АТР (ATR)) часть природного газа сжигают в качестве топлива, чтобы продвинуть преобразование природного газа в синтез-газ, что приводит к относительно низким концентрациям водорода и относительно высоким концентрациям CO<sub>2</sub>. Обычные установки по производству метанола используют технологию комбинированного риформинга (КР (CR)), которая объединяет ПРМ с автотермическим риформингом (АТР), чтобы уменьшить количество водорода, присутствующего в синтез-газе. АТР дает синтез-газ с содержанием H<sub>2</sub> ниже содержания, требуемого для синтеза метанола. Как правило, АТР дает синтез-газ с отношением M, находящимся в интервале от 1,7 до 1,84. По технологии КР объемный расход природного газа, подаваемого на ПРМ и АТР, может быть скорректирован для достижения отношения M всего синтез-газа от 2,0 до 2,06. Кроме того, синтез-газ КР имеет содержание H<sub>2</sub> больше, чем содержание, требуемое для синтеза метанола. Более того, ПРМ представляет собой сильно эндотермический процесс, и эндотермичность технологии ПРМ требует сжигания топлива для продвижения синтеза синтез-газа. Следовательно, технология ПРМ снижает энергоэффективность процесса синтеза метанола.

Синтез-газ также может быть произведен (не коммерческим образом) путем каталитического частичного окисления (КЧО (CPO) или КЧОк (CPOx)) природного газа. В процессе КЧО используют частичное окисление углеводородного сырья до синтез-газа, содержащего CO и H<sub>2</sub>. Процесс КЧО является экзотермическим, что устраняет необходимость во внешнем подведении тепла. Однако состав обычно производимого синтез-газа не подходит для синтеза метанола, например, вследствие пониженного содержания H<sub>2</sub>. Кроме того, поддержание желаемой активности и производительности катализатора в процессе КЧО может быть сложной задачей из-за повышенных или быстро растущих температур КЧО, приводящих к дезактивации катализатора. Реакция КЧО является экзотермической и может привести к сильному повышению температуры слоя катализатора КЧО, что, в свою очередь, может привести к дезактивации катализатора. Таким образом, существует постоянная потребность в развитии производства синтез-газа с помощью процессов КЧО, которые управляют температурой реакции, а также дают синтез-газ, который приемлем для процесса производства метанола.

### Краткое описание чертежей

Для подробного описания предпочтительных аспектов раскрытых способов далее дается ссылка на прилагаемые чертежи.

Фиг. 1 показывает схему системы способа производства метанола.

Фиг. 2 представляет собой схему другой системы способа производства метанола.

Фиг. 3 представляет собой схему еще одной системы способа производства метанола.

### Подробное описание

В настоящем изобретении раскрыты способы производства синтез-газа и олефинов, включающие (а) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО (CPO) или КЧОк (CPOx)) в реактор КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды и необязательно водяной пар; где, по меньшей мере, часть смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением выходящего потока реактора КЧО; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где выходящий поток реактора КЧО содержит водород (H<sub>2</sub>), монооксид углерода (CO), диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), воду и непрореагировавшие первые углеводороды; и где выходящий поток реактора КЧО характеризуется отношением M выходящего потока реактора КЧО, где отношение M представляет собой молярное отношение, определяемое как (H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>)/(CO+CO<sub>2</sub>); (b) подачу исходного сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, богатого водородом потока и потока извлечения углеводородов; где исходное сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где

поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где богатый водородом поток содержит  $H_2$ , метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды; и (с) введение в контакт, по меньшей мере, части выходящего потока реактора КЧО, по меньшей мере, с частью богатого водородом потока с получением обогащенного водородом синтез-газа, где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется отношением  $M$  обогащенного водородом синтез-газа, и где отношение  $M$  обогащенного водородом синтез-газа больше, чем отношение  $M$  выходящего потока реактора КЧО. В некоторых аспектах богатый водородом поток может быть введен в узел извлечения водорода с получением обогащенного водородом потока и обогащенного углеводородами потока, где обогащенный водородом поток может быть дополнительно приведен в контакт с выходящим потоком реактора КЧО с получением обогащенного водородом синтез-газа. Поток извлечения углеводородов может быть подан в реактор КЧО. Первые углеводороды и/или вторые углеводороды могут содержать метан, этан, пропан, бутаны, нефть, природный газ, сжиженный природный газ, попутный газ, устьевой газ, обогащенный газ, парафины, сланцевый газ, сланцевые жидкости, отходящий газ флюид-каталитического крекинга (ФКК (FCC)), технологические газы нефтепереработки, дымовые газы, топливный газ из коллектора топливного газа или их комбинации; и олефины могут содержать этилен. Синтез-газ может быть использован в дальнейшем в процессе производства метанола.

Чтобы скорректировать молярные отношения  $H_2/CO$  синтез-газа до значений больше чем приблизительно 1,7-1,9, способы, раскрытые в данном изобретении, иллюстрируют способы повышения молярного отношения  $H_2/CO$  и/или уменьшения концентрации углеводородов в синтез-газе (например, снижения проскока метана). В одном аспекте отходящий газ паровой крекинг-установки, который имеет богатый водородом состав, может быть смешан с выходящим потоком реактора КЧО в любых подходящих пропорциях с получением обогащенного водородом синтез-газа, имеющего молярное отношение  $H_2/CO$  больше чем приблизительно 2,0. В другом аспекте отходящий газ паровой крекинг-установки, который имеет бедный по водороду состав, может быть смешан со свежим метаном или природным газом и подан в реактор КЧО вместе с кислородом. В таком аспекте остаточный  $H_2$ , присутствующий в отходящем газе паровой крекинг-установки, может (1) повышать содержание  $H_2$  полученного синтез-газа и/или (2) повышать температуру реакции в слое катализатора КЧО за счет сгорания  $H_2$ , где повышенная температура увеличивает скорость реакции КЧО, а также селективность по  $CO$  и  $H_2$ . Быстро растущая температура в реакторе КЧО может быть исключена за счет крекинга этана в змеевиках, погруженных в слой катализатора КЧО. Технологическое тепло, производимое реакцией КЧО, может быть дополнительно использовано для крекинга этана в змеевиках, расположенных вне слоя катализатора КЧО.

За исключением рабочих примеров или иных указаний, все числа или выражения, относящиеся к количествам ингредиентов, условиям реакции и т.п., используемые в описании и формуле изобретения, следует понимать как модифицированные во всех случаях термином "приблизительно". В изобретении раскрыты разные числовые интервалы. Поскольку эти интервалы являются непрерывными, они включают каждое значение между минимальным и максимальным значениями. Конечные точки всех интервалов, перечисляющих одну и ту же характеристику или компонент, можно комбинировать независимо и с включением указанной конечной точки. Если специально не указано иное, различные числовые интервалы, приведенные в этой заявке, являются приблизительными. Конечные точки всех интервалов, относящихся к одному и тому же компоненту или свойству, включают конечную точку и комбинируются независимо. Термин "от больше чем 0 до количества" означает, что названный компонент присутствует в некотором количестве, больше чем 0 и вплоть до и включая указанное более высокое количество.

Термины "a", "an" и "the" не обозначают ограничение количества, а скорее обозначают присутствие, по меньшей мере, одного из упомянутых элементов. Как используется в данном случае, формы единственного числа "a" "an" и "the" включают ссылки на множественное число.

Как используется в данном изобретении, "их комбинации" включают один или несколько из перечисленных элементов, необязательно вместе с подобным элементом, который не перечислен, например, включают комбинацию одного или нескольких названных компонентов необязательно с одним или несколькими другими компонентами, конкретно не названными, которые по сути имеют такую же функцию. Как используется в изобретении, термин "комбинация" включает смеси, сплавы, продукты реакции и т.п.

Ссылка в описании на "аспект", "другой аспект", "другие аспекты", "некоторые аспекты" и так далее означает, что конкретный элемент (например, признак, структура, свойство и/или характеристика), описанный в связи с аспектом, включена, по меньшей мере, в аспект, описанный в данном изобретении, и может присутствовать, а может и не присутствовать в других аспектах. Кроме того, следует понимать, что описанный элемент (элементы) можно комбинировать любым подходящим способом в разных аспектах.

Как используется в данном изобретении, термины "ингибирование", или "уменьшение", или "предупреждение", или "исключение", или любой вариант этих терминов включают любое измеряемое снижение или полное ингибирование для достижения желаемого результата. Как используется в данном изобретении, термин "эффективный" означает адекватный для достижения желаемого, ожидаемого или предполагаемого результата. Как используется в данном изобретении, термины "содержащий" (и любая

форма содержания, такая как "содержат" и "содержит"), "имеющий" (и любая форма наличия, такая как "имеют" и "имеет"), "включающий" (и любая форма включения, такая как "включают" и "включает") или "состоящий из" (и любая форма составления, такая как "состоят из" и "состоит из") являются включающими и открытыми и не исключают дополнительные, перечисленные элементы или стадии способа.

Если не определено иное, технические и научные термины, используемые в изобретении, имеют те же самые значения, которые обычно понимаются специалистом в данной области техники. Соединения описаны в изобретении с использованием стандартной номенклатуры. Например, любое положение, незамещенное какой-либо указанной группой, как следует понимать, имеет свою валентность, заполненную связью или атомом водорода. Тире ("-"), которое не находится между двумя буквами или символами, используют, чтобы показать точку присоединения для заместителя. Например, группа -СНО присоединена через атом углерода карбонильной группы. Как используется в данном изобретении, термины "C<sub>x</sub> углеводороды" и "C<sub>x</sub>" являются взаимозаменяемыми и относятся к любому углеводороду, имеющему x число атомов углерода (С). Например, оба термина "C<sub>4</sub> углеводороды" и "C<sub>4</sub>" относятся к любым углеводородам, имеющим точно 4 атома углерода, таким как н-бутан, изобутан, циклобутан, 1-бутен, 2-бутен, изобутилен, бутадиеи и т.п., или их комбинациям. Как используется в данном изобретении, термин "C<sub>x+</sub> углеводороды" относится к любому углеводороду, имеющему равное или больше чем x число атомов углерода (С). Например, термин "C<sub>2+</sub> углеводороды" относится к любым углеводородам, имеющим 2 или больше атомов углерода, таким как этан, этилен, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> и т.д.

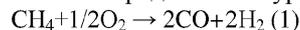
На фиг. 1 раскрыта система производства метанола 1000. Система производства метанола 1000 обычно включает реактор каталитического частичного окисления (КЧО или КЧОк) 100; метанольный реактор 200; газожидкостной сепаратор 300; дистилляционный узел 400; первый узел извлечения водорода (H<sub>2</sub>) 500; и крекинг-установку 600. На фиг. 2 раскрыта система производства метанола 2000. Система производства метанола 2000 обычно включает реактор КЧО 100; метанольный реактор 200; газожидкостный сепаратор 300; дистилляционный узел 400; первый узел извлечения H<sub>2</sub> 500; и крекинг-установку 600. На фиг. 3 раскрыта система производства метанола 3000. Система производства метанола 3000 обычно включает реактор КЧО 100; метанольный реактор 200; газожидкостный сепаратор 300; дистилляционный узел 400; первый узел извлечения H<sub>2</sub> 500; крекинг-установку 600; и второй узел извлечения H<sub>2</sub> 700. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, компоненты системы производства метанола, показанные на фиг. 1-3, могут находиться в сообщении по текучей среде друг с другом (что показано с помощью соединяющих линий, указывающих направление потока текучей среды) через любые подходящие трубопроводы (например, трубы, потоки и т.д.). Общие ссылочные позиции относятся к общим компонентам, представленным на одной или нескольких фигурах, и описание конкретного компонента обычно применимо к соответствующим фигурам, на которых присутствует компонент, за исключением случаев, указанных в данном изобретении.

В одном аспекте способ, раскрытый в данном изобретении, может включать стадию взаимодействия посредством реакции КЧО смеси реагентов КЧО 10 в реакторе КЧО 100 с получением выходящего потока реактора КЧО (например, синтез-газа), где смесь реагентов КЧО 10 содержит углеводороды (например, первые углеводороды, вторые углеводороды) и кислород; где реактор КЧО 100 содержит катализатор КЧО; и где выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) содержит водород (H<sub>2</sub>), моноксид углерода (СО), диоксид углерода (СО<sub>2</sub>), воду и непрореагировавшие углеводороды (например, непрореагировавшие первые углеводороды, непрореагировавшие вторые углеводороды). Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, в зависимости от состава смеси реагентов КЧО 10 состав получаемого выходящего потока реактора КЧО (например, синтез-газа), извлекаемого из реактора КЧО 100, может меняться.

Например, и в соответствии с конфигурацией системы производства метанола 1000 на фиг. 1, смесь реагентов КЧО может содержать O<sub>2</sub>, первые углеводороды, необязательно, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 (например, C<sub>4+</sub> углеводороды) и необязательно водяной пар; и выходящий поток реактора КЧО 15 может быть извлечен из реактора КЧО 100, где выходящий поток реактора КЧО 15 содержит H<sub>2</sub>, СО, СО<sub>2</sub>, воду и непрореагировавшие углеводороды (например, первые углеводороды и необязательно C<sub>4+</sub> углеводороды). В качестве другого примера и в соответствии с конфигурацией системы производства метанола 2000 на фиг. 2, смесь реагентов КЧО может содержать O<sub>2</sub>, первые углеводороды, по меньшей мере, часть бедного водородом потока 72 (например, H<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, необязательно вторые углеводороды, такие как C<sub>2-3</sub> углеводороды), необязательно, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 (например, C<sub>4+</sub> углеводороды) и необязательно водяной пар; и синтез-газ 17 может быть извлечен из реактора КЧО 100, где синтез-газ 17 содержит H<sub>2</sub>, СО, СО<sub>2</sub>, воду и непрореагировавшие углеводороды (например, СН<sub>4</sub>, первые углеводороды, необязательно вторые углеводороды, необязательно C<sub>4+</sub> углеводороды). В качестве еще одного примера и в соответствии с конфигурацией системы 3000 производства метанола на фиг. 3, смесь реагентов КЧО может содержать кислород, первые углеводороды, необязательно, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 (например, C<sub>4+</sub> углеводороды), необязательно, по меньшей мере, часть обогащенного углеводородами потока 76 (например, метан, необязательно вторые углеводороды, такие как C<sub>2-3</sub> углеводороды) и необязательно водяной пар; и синтез-газ 18 может быть извлечен из реактора КЧО 100, где синтез-газ 18 содержит H<sub>2</sub>, СО, СО<sub>2</sub>, воду и

непрореагировавшие углеводороды (например, первые углеводороды, необязательно метан, необязательно вторые углеводороды, необязательно  $C_{4+}$  углеводороды).

Как правило, реакция КЧО основывается на частичном сгорании топлива, такого как различные углеводороды, и в случае метана КЧО может быть представлено уравнением (1):



Без намерения быть связанными какой-либо теорией, следует отметить, что могут иметь место побочные реакции наряду с реакцией КЧО, изображенной в уравнении (1); и такие побочные реакции могут давать  $CO_2$  и  $H_2O$ , например, за счет сгорания углеводородов, что представляет собой экзотермическую реакцию. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, и без намерения быть связанными какой-либо теорией, реакция КЧО, представленная уравнением (1), может давать синтез-газ с молярным отношением водорода к монооксиду углерода ( $H_2/CO$ ), имеющим теоретический стехиометрический предел 2,0. Без намерения быть связанными с какой-либо теорией следует отметить, что теоретический стехиометрический предел 2,0 для молярного отношения  $H_2/CO$  означает, что реакция КЧО, представленная уравнением (1), дает 2 моля  $H_2$  на каждый 1 моль  $CO$ , то есть, молярное отношение  $H_2/CO$  (2 моля  $H_2$ /моль  $CO$ ) - 2. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, теоретический стехиометрический предел 2,0 для молярного отношения  $H_2/CO$  в реакции КЧО практически не может быть достигнут, так как реагенты (например, углеводороды, кислород), а также продукты (например,  $H_2$ ,  $CO$ ) подвергаются побочным реакциям при условиях, используемых для реакции КЧО. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, и без намерения быть связанными какой-либо теорией, в присутствии кислорода  $CO$  и  $H_2$  могут быть окислены до  $CO_2$  и  $H_2O$ , соответственно. Относительные количества (например, состав)  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  и  $H_2O$  могут быть дополнительно изменены за счет смещения равновесия реакции конверсии водяного газа (WGS), что будет обсуждено более подробно позднее. Побочные реакции, которые могут иметь место в реакторе КЧО 100, могут оказывать прямое воздействие на отношение  $M$  произведенного синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО, выходящего потока синтез-газа, синтез-газа 17, синтез-газа 18), где отношение  $M$  представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2 - CO_2)/(CO + CO_2)$ . При отсутствии любой побочной реакции (теоретически) реакция КЧО, представленная уравнением (1), приводит к синтез-газу с отношением  $M$  2,0. Однако наличие побочных реакций (на практике) снижает  $H_2$  и повышает  $CO_2$ , что приводит к синтез-газу с отношением  $M$  ниже 2,0.

Кроме того, и без намерения быть связанными с какой-либо теорией следует отметить, что реакция КЧО, показанная в уравнении (1), представляет собой экзотермическую гетерогенную каталитическую реакцию (то есть умеренно экзотермическую реакцию) и она протекает в одном блоке реактора, таком как реактор КЧО 10 (в отличие от более чем одного реакторного блока, как в случае традиционных процессов производства синтез-газа, таких как комбинации парового риформинга метана (ПРМ) с автотермическим риформингом (АТР)). Хотя можно проводить частичное окисление углеводородов в виде гомогенной реакции в отсутствие катализатора, процесс гомогенного частичного окисления углеводородов влечет за собой избыточные температуры, длительное время пребывания, а также избыточное образование кокса, что сильно снижает управляемость реакции частичного окисления и может не давать синтез-газ желаемого качества в одном реакторном блоке. Кроме того, без намерения быть связанными с какой-либо теорией следует отметить, что реакция КЧО довольно устойчива к химическому отравлению, и как таковая она позволяет использовать широкий спектр углеводородного сырья, включая некоторое серосодержащее углеводородное сырье; это в некоторых случаях может увеличить срок службы катализатора и производительность. Напротив, традиционные процессы АТР имеют более жесткие требования по сырью, например, с точки зрения содержания примесей в сырье (например, сырье для АТР подвергают десульфуризации), а также углеводородного состава (например, в АТР преимущественно используют  $CH_4$ -обогащенное сырье).

В одном аспекте углеводороды (например, первые углеводороды, вторые углеводороды), подходящие для использования в реакции КЧО, раскрытой в данном изобретении, могут включать метан ( $CH_4$ ), этан, пропан, бутаны, нефть, природный газ, природный газоконденсат, нефтяной промышленный газ, попутный газ, обогащенный газ, парафины, сланцевый газ, сланцевые жидкости, отходящий газ флюид-каталитического крекинга (ФКК), технологические газы нефтепереработки, дымовые газы, топливный газ из коллектора топливного газа и т.п., или их комбинации. Углеводороды (например, первые углеводороды, вторые углеводороды) могут включать любой подходящий углеводородный источник и могут содержать  $C_1$ - $C_6$  углеводороды, а также некоторые более тяжелые углеводороды.

В одном аспекте смесь реагентов КЧО 10 может содержать природный газ. Как правило, природный газ состоит преимущественно из метана, но также может содержать этан, пропан и более тяжелые углеводороды (например, изобутан, н-бутан, изопентан, н-пентан, гексаны и др.), а также очень небольшие количества азота ( $N_2$ ), кислорода,  $CO_2$ , соединений серы и/или воды. Природный газ может быть предоставлен из ряда источников, включая, но без ограничения ими, газовые месторождения, нефтяные месторождения, угольные месторождения, месторождения гидравлического разрыва пласта, биомассу, газ из органических отходов и т.п., или их комбинации. В некоторых аспектах смесь реагентов КЧО 10 может

содержать  $\text{CH}_4$  и  $\text{O}_2$ .

Природный газ может содержать любое подходящее количество метана. В некоторых аспектах природный газ может содержать биогаз. Например, природный газ может содержать приблизительно от 45 до 80 мол.% метана, приблизительно от 20 до 55 мол.% диоксида углерода и меньше чем приблизительно 15 мол.%  $\text{N}_2$ .

В одном аспекте природный газ может содержать  $\text{CH}_4$  в количестве, равном или больше чем приблизительно 45, приблизительно 50, приблизительно 55, приблизительно 60, приблизительно 65, приблизительно 70, приблизительно 75, приблизительно 80, приблизительно 82, приблизительно 84, приблизительно 86, приблизительно 88, приблизительно 90, приблизительно 91, приблизительно 92, приблизительно 93, приблизительно 94, приблизительно 95, приблизительно 96, приблизительно 97, приблизительно 98 или приблизительно 99 мол.%

В некоторых аспектах углеводороды (например, первые углеводороды), подходящие для использования в реакции КЧО, раскрытой в данном изобретении, могут содержать  $\text{C}_1$ - $\text{C}_6$  углеводороды,  $\text{N}_2$  (например, приблизительно от 0,1 до 15, или же приблизительно от 0,5 до 11, или же приблизительно от 1 до 7,5, или же приблизительно от 1,3 до 5,5 мол.%), и  $\text{CO}_2$  (например, приблизительно от 0,1 до 2, или же приблизительно от 0,2 до 1 или же приблизительно от 0,3 до 0,6 мол.%). Например, углеводороды (например, первые углеводороды), подходящие для использования в реакции КЧО, раскрытой в данном изобретении, могут содержать  $\text{C}_1$  углеводород (приблизительно от 89 до 92 мол.%),  $\text{C}_2$  углеводороды (приблизительно от 2,5 до 4 мол.%);  $\text{C}_3$  углеводороды (приблизительно от 0,5 до 1,4 мол.%);  $\text{C}_4$  углеводороды (приблизительно от 0,5 до 0,2 мол.%);  $\text{C}_5$  углеводороды (приблизительно 0,06 мол.%); и  $\text{C}_6$  углеводороды (приблизительно 0,02 мол.%); и необязательно  $\text{N}_2$  (приблизительно от 0,1 до 15 мол.%),  $\text{CO}_2$  (приблизительно от 0,1 до 2 мол.%), или как  $\text{N}_2$  (приблизительно от 0,1 до 15 мол.%), так и  $\text{CO}_2$  (приблизительно от 0,1 до 2 мол.%).

Кислород, используемый в смеси реагентов КЧО 10, может содержать 100% кислорода (по существу чистый  $\text{O}_2$ ), кислород-газ (который может быть получен посредством процесса мембранного разделения), технический кислород (который может содержать некоторое количество воздуха), обогащенный кислородом воздух, кислородсодержащие газообразные соединения (например,  $\text{NO}$ ), кислородсодержащие смеси (например,  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ ), генераторы окси-радикалов (например,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$ ), генераторы гидроксильных радикалов и т.п., или их комбинации.

В одном аспекте смесь реагентов КЧО 10 может быть охарактеризована молярным отношением углерода к кислороду (C/O) меньше чем приблизительно 3:1, или же меньше чем приблизительно 2,6:1, или же меньше чем приблизительно 2,4:1, или же меньше чем приблизительно 2,2:1, или же меньше чем приблизительно 2:1, или же меньше чем приблизительно 1,9:1, или же равным или больше чем приблизительно 2:1, или же равным или больше чем приблизительно 2,2:1, или же равным или больше чем приблизительно 2,4:1, или же равным или больше чем приблизительно 2,6:1, или же приблизительно от 0,5:1 до 3:1, или же приблизительно от 0,7:1 до 2,5:1, или же приблизительно от 0,9:1 до 2,2:1, или же приблизительно от 1:1 до 2:1, или же приблизительно от 1,1:1 до 1,9:1, или же приблизительно от 2:1 до 3:1, или же приблизительно от 2,2:1 до 3:1, или же приблизительно от 2,4:1 до 3:1, или же приблизительно от 2,6:1 до 3:1, где молярное отношение C/O относится к всем молям углерода (C) углеводородов в смеси реагентов, поделенным на все моли кислорода ( $\text{O}_2$ ) в смеси реагентов. Например, когда единственным источником углерода в смеси реагентов КЧО 10 является  $\text{CH}_4$ , молярное отношение  $\text{CH}_4/\text{O}_2$  является таким же, как молярное отношение C/O. В качестве другого примера, когда смесь реагентов КЧО 10 содержит другие источники углерода помимо  $\text{CH}_4$ , такие как этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), бутаны ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) и др., молярное отношение C/O учитывает моли углерода в каждом компоненте (например, 2 моля C в 1 моле  $\text{C}_2\text{H}_6$ , 3 моля C в 1 моле  $\text{C}_3\text{H}_8$ , 4 моля C в 1 моле  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  и т.д.). Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, молярное отношение C/O в смеси реагентов КЧО 10 может быть скорректировано вместе с другими технологическими параметрами реактора (например, температурой, давлением, скоростью потока и др.) для получения синтез-газа желаемого состава (например, синтез-газа с желаемым молярным отношением  $\text{H}_2/\text{CO}$ ; синтез-газа с желаемым содержанием  $\text{CO}_2$  и др.). Молярное отношение C/O в смеси реагентов КЧО 10 может быть скорректировано, чтобы обеспечить пониженное количество непрореагировавших углеводородов в синтез-газе. Молярное отношение C/O в смеси реагентов КЧО 10 может быть скорректировано на основании температуры выходящего потока КЧО, чтобы понизить (например, минимизировать) содержание непрореагировавших углеводородов произведенного синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15; выходящего потока синтез-газа; синтез-газа 17; синтез-газа 18). Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, когда синтез-газ в дальнейшем используют в процессе производства метанола, непрореагировавшие углеводороды, присутствующие в синтез-газе, могут нежелательно накапливаться в реакционном контуре метанола, тем самым снижая эффективность процесса производства метанола.

В одном аспекте часть углеводородов (например, первые углеводороды, вторые углеводороды) в смеси реагентов КЧО 10 может подвергаться реакции термического разложения до углерода (C) и  $\text{H}_2$ , например, как представлено уравнением (2):



Реакция разложения углеводородов, таких как метан, усиливается при повышенных температурах и повышает содержание  $\text{H}_2$  в выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе). Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, и без намерения быть связанными какой-либо теорией, хотя процентное содержание углеводородов в смеси реагентов КЧО 10, которая подвергается реакции разложения (например, реакции разложения, представленной уравнением (2)), растет с увеличением молярного отношения С/О в смеси реагентов КЧО 10, часть углеводородов может подвергаться реакции разложения до углерода (С) и  $\text{H}_2$  даже при относительно низких молярных отношениях С/О в смеси реагентов КЧО 10 (например, молярном отношении С/О в смеси реагентов КЧО 10 меньше чем приблизительно 2:1).

Реакция КЧО представляет собой экзотермическую реакцию (например, гетерогенную каталитическую реакцию; экзотермическую гетерогенную каталитическую реакцию), которую обычно проводят в присутствии катализатора КЧО, содержащего каталитически активный металл, то есть, металл, активный для катализа реакции КЧО. Каталитически активный металл может содержать благородный металл (например, Pt, Rh, Ir, Pd, Ru, Ag и т.п., или их комбинации); неблагородный металл (например, Ni, Co, V, Mo, P, Fe, Cu и т.п., или их комбинации); редкоземельные элементы (например, La, Ce, Nd, Eu и т.п., или их комбинации); их оксиды; и т.п.; или их комбинации. Как правило, благородный металл представляет собой металл, который устойчив к коррозии и окислению в содержащей воду среде. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, компоненты катализатора КЧО (например, металлы, такие как благородные металлы, неблагородные металлы, редкоземельные элементы) могут быть разделены по фазе или объединены в одной и той же фазе.

В одном аспекте катализаторы КЧО, приемлемые для использования в настоящем изобретении, могут представлять собой катализаторы на подложке и/или катализаторы без подложки. В некоторых аспектах катализаторы на подложке могут содержать подложку, где подложка может быть каталитически активной (например, подложка может катализировать реакцию КЧО). Например, каталитически активная подложка может включать металлическую ткань или проволочную сетку (например, Pt ткань или проволочную сетку); каталитически активный металлический монолитный катализатор; и др. В других аспектах катализаторы на подложке могут содержать подложки, где подложка может быть каталитически неактивной (например, подложка не может катализировать реакцию КЧО), такие как  $\text{SiO}_2$ , карбид кремния (SiC), оксид алюминия, каталитически неактивная монолитная подложка; и др. В еще одних аспектах катализаторы на подложке могут содержать каталитически активную подложку и каталитически неактивную подложку.

В некоторых аспектах катализатор КЧО может быть нанесен тонким покрытием на подложку, причем подложка может быть каталитически активной или неактивной, и где подложка может быть монолитом, пеной, частицами катализатора неправильной формы и др.

В некоторых аспектах катализатор КЧО может представлять собой монолит, пену, порошок, частицу и др. Неограничивающие примеры форм для частиц катализатора КЧО, приемлемых для использования в настоящем изобретении, включают цилиндрическую, дискообразную, сферическую, пластинчатую, эллипсоидную, равновеликую, неправильную, кубическую, игольчатую форму и т.п., или их комбинации.

В некоторых аспектах подложка содержит неорганический оксид, альфа-, бета- или тета-оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), активированный  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ), диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ), оксид магния ( $\text{MgO}$ ), оксид циркония ( $\text{ZrO}_2$ ), оксид лантана (III) ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ), оксид иттрия (III) ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), оксид церия (IV) ( $\text{CeO}_2$ ), цеолиты, ZSM-5, оксиды перовскита, оксиды гидротальцита и т.п., или их комбинации.

Способы КЧО, реакторы КЧО, катализаторы КЧО и конфигурации каталитического слоя КЧО, приемлемые для использования в настоящем изобретении, более подробно описаны в предварительной заявке на патент США № 62/522910, направленной 21 июня 2017 г. (Международная заявка № PCT/IB2018/054475, поданная 18 июня 2018 г.) под названием "Improved Reactor Designs for Heterogeneous Catalytic Reactions", и в предварительной заявке на патент США № 62/521831, поданной 19 июня 2017 г. (Международная заявка № PCT/IB2018/054470, поданная 18 июня 2018 г.) под названием "An Improved Process for Syngas Production for Petrochemical Applications", каждая из которых включена в данное изобретение посредством ссылки во всей полноте.

В одном аспекте реактор КЧО, подходящий для использования в настоящем изобретении (например, реактор КЧО 100), может включать трубчатый реактор, проточный реактор непрерывного действия, изотермический реактор, адиабатический реактор, реактор с неподвижным слоем, реактор с псевдооживленным слоем, реактор с барботажным слоем, реактор с циркуляционным слоем, реактор с кипящим слоем, реактор типа ротационной печи и т.п., или их комбинации.

В некоторых аспектах реактор КЧО 100 может быть охарактеризован, по меньшей мере, одним рабочим параметром КЧО, выбранным из группы, состоящей из температуры реактора КЧО (например, температуры слоя катализатора КЧО); температуры подачи КЧО (например, температуры смеси реагентов КЧО); целевой температуры выходящего потока КЧО; давления КЧО (например, давление реактора КЧО); времени контакта КЧО (например, времени контакта реактора КЧО); молярного отношения С/О в

смеси реагентов КЧО; молярного отношения водяного пара к углероду (П/S (S/C)) в смеси реагентов КЧО, где молярное отношение S/C означает общее количество молей воды (H<sub>2</sub>O) в смеси реагентов, поделенное на общее количество молей углерода (C) углеводородов в смеси реагентов; и их комбинаций. Применительно к настоящему описанию температура выходящего потока КЧО представляет собой температуру синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, выходящего потока синтез-газа; синтез-газа 17; синтез-газа 18), измеренную в точке, где синтез-газ выходит из реактора КЧО (реактор КЧО 100), например, температуру синтез-газа, измеренную на выходе из реактора КЧО, температура выходящего потока синтез-газа, температура выхода выходящего потока синтез-газа. Применительно к настоящему описанию температура выходящего потока КЧО (например, целевая температура выходящего потока КЧО) считается рабочим параметром. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, выбор рабочих параметров для реактора КЧО, таких как температура подачи КЧО; давление КЧО; время контакта КЧО; молярное отношение С/О в смеси реагентов КЧО; молярное отношение П/С в смеси реагентов КЧО; и т.д. определяет температуру выходящего потока синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, выходящего потока синтез-газа; синтез-газа 17; синтез-газа 18), а также состав выходящего потока синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, выходящего потока синтез-газа; синтез-газа 17; синтез-газа 18). Кроме того, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, мониторинг температуры выходящего потока КЧО может обеспечить обратную связь для изменения других рабочих параметров (например, температуры подачи КЧО; давления КЧО; времени контакта КЧО; молярного отношения С/О в смеси реагентов КЧО; молярного отношения П/С в смеси реагентов КЧО; и т.д.) по мере необходимости, чтобы температура выходящего потока КЧО соответствовала целевой температуре выходящего потока КЧО. Кроме того, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, целевая температура выходящего потока КЧО представляет собой желаемую температуру выходящего потока КЧО, а температура выходящего потока КЧО (например, измеренная температура выходящего потока КЧО, фактическое значение температуры выходящего потока КЧО) может совпадать или не совпадать с целевой температурой выходящего потока КЧО. В аспектах, где температура выходящего потока КЧО отличается от целевой температуры выходящего потока КЧО, один или несколько рабочих параметров КЧО (например, температура подачи КЧО; давление КЧО; время контакта КЧО; молярное отношение С/О в смеси реагентов КЧО; молярное отношение П/С в смеси реагентов КЧО; и т.д.) могут быть скорректированы (например, изменены), чтобы температура выходящего потока КЧО соответствовала (например, была такой же, совпадала с) целевой температуре выходящего потока КЧО. Реактор КЧО 100 может работать при любых подходящих рабочих параметрах, которые могут обеспечивать синтез-газ желаемого состава (например, синтез-газ с желаемым молярным отношением Н<sub>2</sub>/СО; синтез-газ с желаемым содержанием СО<sub>2</sub> и т.д.).

Реактор КЧО 100 может быть охарактеризован температурой подачи КЧО приблизительно от 25 до 600, или же приблизительно от 25 до 500, или же приблизительно от 25 до 400, или же приблизительно от 50 до 400, или же приблизительно от 100 до 400°C. В аспектах, где смесь реагентов КЧО содержит водяной пар, температура подачи КЧО может достигать приблизительно 600, или же приблизительно 575, или же приблизительно 550, или же приблизительно 525°C. В аспектах, где смесь реагентов КЧО не содержит водяной пар, температура подачи КЧО может достигать приблизительно 450, или же приблизительно 425, или же приблизительно 400, или же приблизительно 375°C. Реактор КЧО 100 может быть охарактеризован температурой выходящего потока КЧО (например, целевой температурой выходящего потока КЧО), равной или больше чем приблизительно 300, приблизительно 600, приблизительно 700°C, приблизительно 750, приблизительно 800, приблизительно 850, или же приблизительно от 300 до 1600, или же приблизительно от 600 до 1400, или же приблизительно от 600 до 1300, или же приблизительно от 700 до 1200, или же приблизительно от 750 до 1150, или же приблизительно от 800 до 1125 или, с другой стороны, приблизительно от 850 до 1100°C.

В одном аспекте реактор КЧО 100 может быть охарактеризован любой подходящей температурой реактора и/или температурой слоя катализатора. Например, реактор КЧО 100 может характеризоваться температурой реактора и/или температурой слоя катализатора равной или больше чем приблизительно 300, приблизительно 600, приблизительно 700, приблизительно 750, приблизительно 800 или приблизительно 850, или, с другой стороны, приблизительно от 300 до 1600, или же приблизительно от 600 до 1400, или же приблизительно от 600 до 1300, или же приблизительно от 700 до 1200, или же приблизительно от 750 до 1150, или же приблизительно от 800 до 1125, или, с другой стороны, приблизительно от 850 до 1100°C.

Реактор КЧО 100 может работать при любом подходящем температурном режиме, который может обеспечить синтез-газ желаемого состава (например, синтез-газ с желаемым молярным отношением Н<sub>2</sub>СО; синтез-газ с желаемым содержанием СО<sub>2</sub> и т.д.). Реактор КЧО 100 может работать в адиабатических условиях, неадиабатических условиях, изотермических условиях, почти изотермических условиях и т.д. Применительно к настоящему описанию термин "неадиабатические условия" относится к условиям процесса, при которых реактор подвергается внешнему теплообмену или теплопередаче (например, реактор нагревают или реактор охлаждают), что может представлять собой прямой теплообмен и/или не-

прямой теплообмен. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, термины "прямой теплообмен" и "непрямой теплообмен" известны специалисту в данной области техники. Напротив, термин "адиабатические условия" относится к условиям процесса, при которых реактор не подвергается внешнему теплообмену (например, реактор не нагревают или реактор не охлаждают). Как правило, внешний теплообмен подразумевает внешнюю систему теплообмена (например, систему охлаждения, систему обогрева), которая требует ввода и/или вывода энергии. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, внешняя теплопередача также может быть результатом теплопотерь из слоя катализатора (или реактора) из-за радиационной теплопередачи, теплопроводности, конвекционной теплопередачи и т.п., или их комбинаций. Например, слой катализатора может участвовать в теплообмене с внешней средой и/или с зонами реактора перед слоем и/или после слоя катализатора.

Применительно к настоящему описанию термин "изотермические условия" относится к условиям процесса (например, рабочим параметрам КЧО), которые позволяют поддерживать практически постоянной температуру реактора и/или слоя катализатора (например, изотермическую температуру), которая может быть определена как температура, которая меняется меньше чем приблизительно на  $\pm 10$ , приблизительно на  $\pm 9$ , приблизительно на  $\pm 8$ , приблизительно на  $\pm 7$ , приблизительно на  $\pm 6$ , приблизительно на  $\pm 5$ , приблизительно на  $\pm 4$ , приблизительно на  $\pm 3$ , приблизительно на  $\pm 2$  или приблизительно на  $\pm 1^\circ\text{C}$  по всему реактору и/или слою катализатора соответственно. Кроме того, применительно к настоящему описанию термин "изотермические условия" относится к условиям процесса (например, рабочим параметрам КЧО), эффективным для получения синтез-газа желаемого состава (например, с желаемым молярным отношением  $\text{H}_2/\text{CO}$ , желаемым содержанием  $\text{CO}_2$  и т.д.), где изотермические условия включают изменение температуры меньше чем приблизительно на  $\pm 10^\circ\text{C}$  по всему реактору и/или слою катализатора. Реактор КЧО 100 может работать при любых подходящих рабочих параметрах, которые могут обеспечивать изотермические условия.

Применительно к настоящему описанию термин "почти изотермические условия" относится к условиям процесса (например, рабочим параметрам КЧО), которые позволяют поддерживать почти постоянной температуру реактора и/или слоя катализатора (например, почти изотермическую температуру), которая может быть определена как температура, которая меняется меньше чем приблизительно на  $\pm 100$ , приблизительно на  $\pm 90$ , приблизительно на  $\pm 80$ , приблизительно на  $\pm 70$ , приблизительно на  $\pm 60$ , приблизительно на  $\pm 50$ , приблизительно на  $\pm 40$ , приблизительно на  $\pm 30$ , приблизительно на  $\pm 20$ , приблизительно на  $\pm 10$ , приблизительно на  $\pm 9$ , приблизительно на  $\pm 8$ , приблизительно на  $\pm 7$ , приблизительно на  $\pm 6$ , приблизительно на  $\pm 5$ , приблизительно на  $\pm 4$ , приблизительно на  $\pm 3$ , приблизительно на  $\pm 2$  или приблизительно на  $\pm 1^\circ\text{C}$  по всему реактору и/или слою катализатора, соответственно. В некоторых аспектах почти изотермические условия допускают изменение температуры меньше чем приблизительно на  $\pm 50$ , или же меньше чем приблизительно на  $\pm 25$ , или же меньше чем приблизительно на  $\pm 10^\circ\text{C}$  по всему реактору и/или слою катализатора. Кроме того, применительно к настоящему описанию термин "почти изотермические условия" следует понимать как включающий "изотермические" условия.

Кроме того, применительно к настоящему описанию термин "почти изотермические условия" относится к условиям процесса (например, рабочим параметрам КЧО), эффективным для получения синтез-газа желаемого состава (например, с желаемым молярным отношением  $\text{H}_2/\text{CO}$ , желаемым содержанием  $\text{CO}_2$  и т.д.), при этом почти изотермические условия включают изменение температуры меньше чем приблизительно на  $\pm 100^\circ\text{C}$  по всему реактору и/или слою катализатора.

В одном аспекте способ, раскрытый в данном изобретении, может включать проведение реакции КЧО в почти изотермических условиях с получением синтез-газа, где почти изотермические условия включают изменение температуры меньше чем приблизительно на  $\pm 100^\circ\text{C}$  по всему реактору и/или слою катализатора. Реактор КЧО 100 может работать при любых подходящих рабочих параметрах, которые могут обеспечивать почти изотермические условия. Почти изотермические условия могут быть обеспечены с помощью ряда переменных процесса и катализатора, таких как температура (например, теплообмен или теплопередача), давление, скорость потока газа, конфигурация реактора, конфигурация слоя катализатора, состав слоя катализатора, площадь поперечного сечения реактора, ступенчатость подачи газа, впрыскивание подачи газа, состав подачи газа и т.п., или их комбинации. Как правило, и без намерения быть связанными с какой-либо теорией, термины "теплопередача" или "теплообмен" относят к тепловой энергии, обмениваемой или передаваемой между двумя системами (например, двумя реакторами, такими как реактор КЧО и реактор крекинга), и термины "теплопередача" или "теплообмен" используют в изобретении взаимозаменяемо.

В некоторых аспектах достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено за счет теплообмена или теплопередачи. Теплообмен может включать нагревание реактора или охлаждение реактора. В одном аспекте достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено за счет охлаждения реактора. В другом аспекте достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено за счет нагревания реактора. В некоторых

аспектах достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено прямым теплообменом и/или непрямым теплообменом. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, термины "прямой теплообмен" и "непрямой теплообмен" известны специалисту в данной области. Теплообмен может включать внешний теплообмен, внешнее охлаждение охлаждающей жидкостью, реакционное охлаждение, охлаждение жидким азотом, криогенное охлаждение, электрическое нагревание, электродуговое нагревание, микроволновое нагревание, радиационное нагревание, сжигание природного газа, солнечное нагревание, инфракрасное нагревание, использование разбавителя в смеси реагентов КЧО и т.п., или их комбинации. Например, реакционное охлаждение может быть выполнено путем проведения эндотермической реакции в охлаждающем змеевике/рубашке, связанных с реактором (например, расположенных внутри реактора).

В некоторых аспектах достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено за счет отведения технологического тепла из реактора КЧО. В других аспектах достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено путем подачи тепла в реактор КЧО. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, реактор КЧО может нуждаться как в нагревании, так и охлаждении для достижения целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий.

В одном аспекте теплообмен или теплопередача может включать введение охлаждающего агента, такого как разбавитель, в реактор (например, реактор КЧО 100), чтобы снизить температуру реактора и/или температуру слоя катализатора, при этом повышая температуру охлаждающего агента и/или меняя фазу охлаждающего агента. Охлаждающий агент может быть реакционноспособным или инертным. Охлаждающий агент может находиться в жидком состоянии и/или парообразном состоянии. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, охлаждающий агент может действовать как замедлитель воспламенения, например, за счет снижения температуры внутри реактора, изменения состава газовой смеси, уменьшения сгорания углеводородов до  $\text{CO}_2$  и т.п.

В некоторых аспектах смесь реагентов КЧО 10 может дополнительно содержать разбавитель, причем разбавитель способствует достижению целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий посредством теплообмена, как раскрыто в данном изобретении. Разбавитель может содержать воду, водяной пар, инертные газы (например, аргон), азот, диоксид углерода и т.п., или их комбинации. Обычно разбавитель инертен по отношению к реакции КЧО, например, разбавитель не участвует в реакции КЧО. Однако, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, некоторые разбавители (например, вода, водяной пар, диоксид углерода и т.д.) могут вступать в химические реакции, отличные от реакции КЧО, внутри реактора и могут менять состав получаемого синтез-газа, как будет более подробно описано ниже в данном изобретении; при этом другие разбавители (например, азот (N), аргон (Ar)) могут не участвовать в реакциях, которые меняют состав получаемого синтез-газа. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, разбавитель может быть использован для изменения состава получаемого синтез-газа. Разбавитель может присутствовать в смеси реагентов КЧО 10 в любом подходящем количестве.

В одном аспекте достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий может быть обеспечено за счет отведения технологического тепла ( $Q_{\text{out}}$ ) из реактора КЧО 100, например, охлаждением реактора КЧО 100, например, за счет нагревания реактора крекинга и/или нагревания воды для производства пара. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, положительное значение  $Q$ , выходящего "наружу" (по направлению стрелки 13), означает, что тепло передается от этого конкретного реактора, например, этот конкретный реактор охлаждают. Например,  $Q_{\text{out}}$  13 на фиг. 1-3 указывает на то, что тепло передается от реактора КЧО 100 (например, реактор КЧО 100 охлаждают), например, на процесс крекинга и/или процесс производства пара, соответственно. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, положительное значение  $Q$ , входящего "внутрь" (по направлению стрелки 13'), означает тепло, передаваемое конкретной системе/узлу/реактору, например, эти конкретные систему/узел/реактор нагревают.

В некоторых аспектах теплопередача может включать охлаждение реактора КЧО 100 при одновременном нагревании реактора крекинга (например, реактора крекинга в крекинг-установке 600), где реактор крекинга необязательно может производить этилен путем крекинга этана. В одном аспекте сырье крекинг-установки 60 может быть подано в реактор крекинга, где сырье крекинг-установки включает вторые углеводороды, такие как алканы (например, этан, пропан, бутаны, нефтя и т.п., или их комбинации); где, по меньшей мере, часть вторых углеводородов подвергается эндотермической реакции крекинга в реакторе крекинга с образованием потока продуктов реактора крекинга; и где поток продуктов реактора крекинга содержит олефины (например, этилен), водород и непрореагировавшие алканы. В других аспектах теплопередача может включать охлаждение реактора КЧО 100 при одновременном нагревании воды для получения пара. В некоторых аспектах реактор КЧО 100 может представлять собой реактор с водяным охлаждением. Реактор КЧО 100 может иметь внутренние и/или внешние охлаждающие элемен-

ты для преобразования воды в водяной пар. Например, трубопроводы для преобразования воды в водяной пар могут быть использованы в качестве внутренних охлаждающих элементов в реакторе КЧО 100, где часть технологического тепла от реакции КЧО нагревает воду внутри таких трубопроводов, тем самым превращая воду в водяной пар. В качестве другого примера может быть использована внешняя охлаждающая рубашка для преобразования воды в водяной пар. Более подробно интеграция процесса КЧО с процессами крекинга и/или производства пара описана в предварительных заявках на патент США № 62/787620, поданной 2 января 2019 г. под названием "Catalyst Activity Management in Catalytic Partial Oxidation", и № 62/810629, поданной 26 февраля 2019 г. под названием "An Integrated Process for the Production of Syngas and Olefins by Catalytic Partial Oxidation and Cracking"), каждая из которых полностью включена в настоящее изобретение посредством ссылки.

В некоторых аспектах теплопередача (например, теплопередача, которая обеспечивает достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий) исключает теплопередачу с выходящим потоком синтез-газа (например, выходящим потоком реактора КЧО 15, выходящим потоком синтез-газа; синтез-газом 17; синтез-газом 18) после выходящего потока синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, выходящего потока синтез-газа; синтез-газом 17; синтез-газом 18), покидающего реактор КЧО (например, реактор КЧО 100). В других аспектах теплопередача (например, теплопередача, которая обеспечивает достижение целевой температуры выходящего потока КЧО и/или почти изотермических условий) может включать теплопередачу с выходящим потоком синтез-газа (например, потоком реактора КЧО 15, выходящим потоком синтез-газа; синтез-газом 17 синтез-газом 18) после выходящего потока синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, выходящего потока синтез-газа; синтез-газом 17; синтез-газом 18), покидающего реактор КЧО (например, реактор КЧО 100).

Реактор КЧО 100 может быть охарактеризован давлением КЧО (например, давлением в реакторе, измеренным на выходе или выпуске из реактора) равным или больше чем приблизительно 1, приблизительно 10, приблизительно 20, приблизительно 25, приблизительно 30, приблизительно 35 бар(изб.), приблизительно 40 или приблизительно 50 бар(изб.), или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 30, приблизительно 25, приблизительно 20 или приблизительно 10, или же приблизительно от 1 до 90, или же приблизительно от 1 до 70, или же приблизительно от 1 до 40, или же приблизительно от 1 до 30, или же приблизительно от 1 до 25, или же приблизительно от 1 до 20, или же приблизительно от 1 до 10, или же приблизительно от 20 до 90, или же приблизительно от 25 до 85, или, с другой стороны, приблизительно от 30 до 80 бар(изб.).

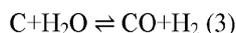
Реактор КЧО 100 может быть охарактеризован временем контакта КЧО приблизительно от 0,001 миллисекунды (мсек) до 5 секунд (с), или же приблизительно от 0,001 мс до 1 с, или же приблизительно от 0,001 до 100 мс, или же приблизительно от 0,001 до 10, или же приблизительно от 0,001 до 5, или, с другой стороны, приблизительно от 0,01 до 1,2 мс. Обычно время контакта в реакторе, содержащем катализатор, относится к среднему количеству времени, которое соединение (например, молекула этого соединения) проводит в контакте с катализатором (например, в слое катализатора), например, среднее количество времени, которое требуется соединению (например, молекуле этого соединения), чтобы пройти через слой катализатора. Применительно к настоящему описанию время контакта меньше чем приблизительно 5 мс может быть названо "миллисекундным режимом" (MCP (MSR)); и способ КЧО или реакция КЧО, описанные в данном изобретении, характеризующиеся временем контакта меньше чем приблизительно 5 мсек, могут быть названы способом или реакцией КЧО с "миллисекундным режимом" (MCP-КЧО), соответственно. В некоторых аспектах реактор КЧО 100 может быть охарактеризован временем контакта приблизительно от 0,001 до 5 мс или, с другой стороны, приблизительно от 0,01 до 1,2 мс.

Все раскрытые в изобретении рабочие параметры КЧО применимы во всех раскрытых в изобретении вариантах, если не указано иное. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, каждый рабочий параметр КЧО может быть скорректирован для получения желаемого качества синтез-газа, такого как синтез-газ желаемого состава (например, синтез-газ с желаемым молярным отношением  $H_2/CO$ , синтез-газ с желаемым содержанием  $CO_2$  и др.). Например, рабочие параметры КЧО могут быть скорректированы, чтобы обеспечить повышенное содержание  $H_2$  синтез-газ F. В качестве другого примера, рабочие параметры КЧО могут быть отрегулированы для обеспечения пониженного содержания  $CO_2$  синтез-газ F. В качестве еще одного примера, рабочие параметры КЧО могут быть скорректированы для получения пониженного содержания непрореагировавших углеводородов (например, непрореагировавшего  $CH_4$ ) в синтез-газе.

В одном аспекте смесь реагентов КЧО 10 может дополнительно содержать разбавитель, такой как вода и/или водяной пар,  $CO_2$ ,  $N_2$ , аргон и т.д. Реактор КЧО 100 может работать в любых подходящих рабочих условиях (например, рабочих параметрах КЧО), которые могут обеспечивать выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) желаемого состава (например, желаемое молярное отношение  $H_2/CO$ ; желаемое содержание  $CO_2$  и т.д.); например, реактор КЧО 100 может работать с введением в реактор КЧО 100 воды и/или водяного пара и необязательно  $CO_2$ .

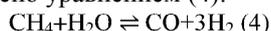
Когда в реакторе присутствует углерод (например, кокс; C, образующийся в результате реакции

разложения, представленной уравнением (2)), разбавитель вода и/или водяной пар могут реагировать с углеродом и генерировать дополнительные количества CO и H<sub>2</sub>, например, как представлено уравнением (3):



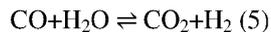
Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, присутствие воды и/или водяного пара в реакторе КЧО 100 может уменьшить количество кокса в реакторе КЧО 100.

Кроме того, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, вода и/или водяной пар могут быть использованы для изменения состава получаемого синтез-газа в выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе). Водяной пар может реагировать с метаном, например, как представлено уравнением (4):



В одном аспекте разбавитель, содержащий воду и/или водяной пар, может повышать содержание H<sub>2</sub> полученного выходящего потока реактора КЧО (например, синтез-газа). Например, в аспектах, где смесь реагентов КЧО 10 содержит разбавитель воду и/или водяной пар, получаемый выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) может быть охарактеризован молярным отношением H<sub>2</sub> к CO, которое увеличивается по сравнению с молярным отношением H<sub>2</sub> к CO выходящего потока реактора КЧО (например, синтез-газа), получаемого в аналогичном во всем остальном процессе, проводимом со смесью реагентов, содержащей углеводороды и кислород, без разбавителя воды и/или водяного пара. Без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что реакция риформинга (например, представленная уравнением (4)) является эндотермической реакцией. Реакция риформинга, представленная уравнением (4), может отводить часть технологического тепла (например, тепла, производимого экзотермической реакцией КЧО, представленной уравнением (1)).

В присутствии воды и/или водяного пара в реакторе КЧО 100 CO может реагировать с водой и/или водяным паром с образованием CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> посредством реакции конверсии водяного газа (WGS), например, как представлено уравнением (5):



Хотя реакция WGS может увеличить молярное отношение H<sub>2</sub>/CO синтез-газа, производимого в реакторе КЧО 100, она также дает CO<sub>2</sub>.

В одном аспекте реактор КЧО 100 может работать при молярном отношении П/С в смеси реагентов КЧО 10 меньше чем приблизительно 2,4:1, приблизительно 2:1, приблизительно 1,5:1, приблизительно 1:1, приблизительно 0,8:1, приблизительно 0,5:1, или, с другой стороны, приблизительно от 0,01:1 до менее чем 2,4:1, или же приблизительно от 0,05:1 до 2:1, или же приблизительно от 0,1:1 до 1,5:1, или же приблизительно от 0,15:1 до 1:1 или, с другой стороны, приблизительно от 0,2:1 до 0,8:1. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, водяной пар, который вводят в реактор для использования в качестве разбавителя в реакции КЧО, раскрытой в изобретении, присутствует в значительно меньших количествах, чем количества водяного пара, используемого в процессах парового риформинга (например, ПРМ), и как таковой способ производства синтез-газа, раскрытый в данном изобретении, может давать синтез-газ с меньшими количествами H<sub>2</sub> по сравнению с количествами H<sub>2</sub> в синтез-газе, полученном посредством ПРМ.

Молярное отношение П/С в смеси реагентов КЧО 10 может быть отрегулировано на основании желаемой температуры выходящего потока КЧО (например, целевой температуры выходящего потока КЧО), чтобы увеличить (например, максимизировать) содержание H<sub>2</sub> выходящего потока реактора КЧО (например, синтез-газа). Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, реакция (4), которая потребляет водяной пар в реакторе КЧО, является предпочтительной по сравнению с реакцией конверсии водяного газа (WGS) (5) в реакторе КЧО 100, поскольку реакция (4) позволяет увеличить содержание H<sub>2</sub> в выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе), а также отношение М выходящего потока реактора КЧО (например, синтез-газа), где отношение М представляет собой молярное отношение, определяемое как (H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>)/(CO+CO<sub>2</sub>). Кроме того, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, реакция (4) превращает воду и CO как в H<sub>2</sub>, так и в CO<sub>2</sub>.

В одном аспекте количество метана, который реагирует согласно реакции (3) в реакторе КЧО 100, меньше количества метана, который реагирует согласно реакции (1) в реакторе КЧО 100. В одном аспекте меньше чем приблизительно 50, или же меньше чем приблизительно 40, или же меньше чем приблизительно 30, или же меньше чем приблизительно 20 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 10 мол.% углеводородов (например, метана) реагируют с водяным паром в реакторе КЧО 100.

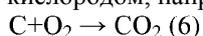
Без намерения быть связанными какой-либо теорией, считают, что присутствие воды и/или водяного пара в реакторе КЧО 100 меняет воспламеняемость смеси реагентов КЧО 10, тем самым обеспечивая более широкий практический интервал молярных отношений С/О в смеси реагентов КЧО 10. Кроме того, и без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что присутствие воды и/или водяного пара в реакторе КЧО 100 позволяет использовать более низкие молярные отношения С/О в смеси реагентов КЧО 10. Более того, и без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что присутствие

воды и/или водяного пара в реакторе КЧО 100 позволяет эксплуатировать реактор КЧО 100 при относительно высоких давлениях.

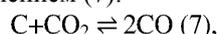
Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, введение воды и/или водяного пара в реактор КЧО 100 может привести к увеличению количества непрореагировавших углеводородов в выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе). Кроме того, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, в способах производства метанола, как правило, в синтез-газе допускаются ограниченные количества непрореагировавших углеводородов.

В некоторых аспектах выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) может содержать меньше чем приблизительно 7,5, или же меньше чем приблизительно 5 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 2,5 мол.% углеводородов (например, непрореагировавших углеводородов, непрореагировавшего  $\text{CH}_4$ ). В таких аспектах выходящий поток реактора КЧО может быть получен в способе КЧО, в котором используют воду и/или водяной пар. В таких аспектах выходящий поток реактора КЧО может быть использован для синтеза метанола.

Кроме того, поскольку кислород присутствует в смеси реагентов КЧО 10, углерод, присутствующий в реакторе (например, кокс; С, образующийся в результате реакции разложения, представленной уравнением (2)), также может реагировать с кислородом, например, как представлено уравнением (6):

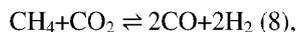


Когда в реакторе присутствует углерод (например, кокс; С, образующийся в результате реакции разложения, как представлено уравнением (2)),  $\text{CO}_2$  (например, введенный в реактор КЧО 100 как часть смеси реагентов КЧО 10 и/или полученный по реакции, представленной уравнением (6)) может реагировать с С, например, как представлено уравнением (7):



тем самым уменьшая количество  $\text{CO}_2$  в получаемом выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе). Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, присутствие  $\text{CO}_2$  в реакторе КЧО 100 может уменьшить количество кокса в реакторе КЧО 100.

Кроме того,  $\text{CO}_2$  может реагировать с  $\text{CH}_4$  в реакции сухого риформинга, например, как представлено уравнением (8):



тем самым уменьшая количество  $\text{CO}_2$  в получаемом выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе). Без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что реакция сухого риформинга (например, представленная уравнением (8)), является эндотермической реакцией (например, сильно эндотермической реакцией). Реакция сухого риформинга может отводить часть технологического тепла (например, тепла, производимого экзотермической реакцией КЧО, например, представленной уравнением (1)).

В одном аспекте разбавитель, содержащий  $\text{CO}_2$ , может увеличивать содержание СО в получаемом выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе). Например, в аспектах, где смесь реагентов КЧО 10 содержит разбавитель  $\text{CO}_2$ , выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) может быть охарактеризован молярным отношением  $\text{H}_2$  к СО, которое уменьшается по сравнению с молярным отношением  $\text{H}_2$  к СО в выходящем потоке реактора КЧО (например, в синтез-газе), получаемом в аналогичном во всем остальном процессе, проводимом со смесью реагентов, содержащей углеводороды и кислород, без разбавителя  $\text{CO}_2$ . Без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что  $\text{CO}_2$  может реагировать с коксом внутри реактора КЧО 100 и генерировать дополнительный СО, например, как представлено уравнением (7). Кроме того, и без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что  $\text{CO}_2$  может участвовать в реакции сухого риформинга метана, тем самым генерируя дополнительные количества СО и  $\text{H}_2$ , например, как представлено уравнением (8). Сухой риформинг метана обычно сопровождается реакцией между  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ , которая приводит к образованию дополнительных количеств СО и воды.

Использование  $\text{CO}_2$  в смеси реагентов КЧО 10 может преимущественно снижать количество углеводородов, превращенных в  $\text{CO}_2$  в реакторе КЧО 100, например, в результате реакции горения. Без намерения быть связанными какой-либо теорией и согласно принципу Ле Шателье, равновесие реакции сухого риформинга углеводородов будет смещено в сторону потребления  $\text{CO}_2$  с увеличением количества  $\text{CO}_2$  в смеси реагентов, что позволяет превратить в синтез-газ большее количество углеводородов.

Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, обедненный  $\text{CO}_2$  синтез-газ имеет более высокое отношение М, чем богатый  $\text{CO}_2$  синтез-газ: чем ниже содержание  $\text{CO}_2$  в синтез-газе, тем выше отношение М синтез-газа. Содержание  $\text{CO}_2$  в синтез-газе может быть скорректировано, как более подробно описано в находящейся на одновременном рассмотрении предварительной заявке на патент США № 62/787574, поданной 2 января 2019 г. под названием "Hydrogen Enrichment in Syngas Produced via Catalytic Partial Oxidation"); которая включена в настоящее изобретение посредством ссылки во всей полноте.

В одном аспекте выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) может быть извлечен из

реактора КЧО 100, где выходящий поток реактора КЧО (например, синтез-газ) содержит  $H_2$ ,  $CO$ , воду,  $CO_2$  и непрореагировавшие углеводороды (например, непрореагировавшие первые углеводороды, непрореагировавший метан, необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды, необязательно непрореагировавшие  $C_{4+}$  углеводороды).

В соответствии с конфигурацией системы производства метанола 1000 на фиг. 1 выходящий поток реактора КЧО 15 может содержать  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды (например, первые углеводороды и необязательно  $C_{4+}$  углеводороды). Выходящий поток реактора КЧО 15, как раскрыто в изобретении, может быть охарактеризован молярным отношением  $H_2/CO$  больше чем приблизительно 1,6, или же больше чем приблизительно 1,7, или же больше чем приблизительно 1,8, или же больше чем приблизительно 1,9 или, с другой стороны, больше чем приблизительно 2,0. В некоторых аспектах выходящий поток реактора КЧО 15, как раскрыто в данном изобретении, может быть охарактеризован молярным отношением  $H_2/CO$  приблизительно от 1,6 до 2,3, или же приблизительно от 1,7 до 2,2 или, с другой стороны, приблизительно от 1,8 до 2,1. В одном аспекте выходящий поток реактора КЧО 15 может быть охарактеризован отношением  $M$ , равным или больше чем приблизительно 1,6, или же равным или больше чем приблизительно 1,7, или же равным или больше чем приблизительно 1,8, или же приблизительно от 1,6 до 2,3, или же приблизительно от 1,7 до 2,2 или, с другой стороны, приблизительно от 1,8 до 2,2.

В соответствии с конфигурацией системы производства метанола 2000 на фиг. 2 синтез-газ 17 может содержать  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды (например, метан, первые углеводороды, необязательно вторые углеводороды, необязательно  $C_{4+}$  углеводороды). Синтез-газ 17, как описано в данном изобретении, может быть охарактеризован молярным отношением  $H_2/CO$  больше чем приблизительно 1,7, или же больше чем приблизительно 1,8, или же больше чем приблизительно 1,9, или же больше чем приблизительно 2,0 или, с другой стороны, больше чем приблизительно 2,1. В одном аспекте синтез-газ 17 может быть охарактеризован отношением  $M$ , равным или больше чем приблизительно 1,7, или же равным или больше чем приблизительно 2,0, или же равным или больше чем приблизительно 2,1, или же приблизительно от 1,7 до 2,4, или же приблизительно от 1,8 до 2,2 или, с другой стороны, приблизительно от 1,9 до 2,1.

В соответствии с конфигурацией системы производства метанола 3000 на фиг. 3 синтез-газ 18 может содержать  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды (например, первые углеводороды, необязательно метан, необязательно вторые углеводороды, необязательно  $C_{4+}$  углеводороды). Синтез-газ 18, описанный в данном изобретении, может быть охарактеризован молярным отношением  $H_2/CO$  больше чем приблизительно 1,7, или же больше чем приблизительно 1,8, или же больше чем приблизительно 1,9, или же больше чем приблизительно 2,0 или, с другой стороны, больше чем приблизительно 2,1. В одном аспекте синтез-газ 18 может быть охарактеризован отношением  $M$ , равным или больше чем приблизительно 1,7, или же равным или больше чем приблизительно 2,0, или же равным или больше чем приблизительно 2,1, или же приблизительно от 1,7 до 2,4, или же приблизительно от 1,8 до 2,2 или, с другой стороны, приблизительно от 1,9 до 2,1.

В некоторых аспектах выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) может быть использован в расположенном ниже по потоку процессе (например, при производстве метанола) без дополнительной обработки для обогащения водородом ( $H_2$ ) выходящего потока реактора КЧО и/или синтез-газа, соответственно.

В других аспектах, выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) могут быть дополнительно переработаны перед использованием выходящего потока реактора КЧО и/или синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, синтез-газа 17, синтез-газа 18) в расположенном ниже по потоку процессе, таком как производство метанола. Выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) могут быть переработаны для обогащения его по содержанию  $H_2$ ; например, путем введения в контакт выходящего потока реактора КЧО и/или синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, синтез-газа 17, синтез-газа 18) с дополнительным (например, вспомогательным)  $H_2$  (например, с потоком водорода 51; богатым водородом потоком 70; обогащенным водородом потоком 75).

Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, хотя выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) может быть охарактеризован с молярным отношением  $H_2/CO$  больше чем приблизительно 1,8, которое может быть приемлемо для синтеза метанола, выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) могут быть переработаны для дальнейшего повышения содержания  $H_2$ . Кроме того, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) могут быть подвергнуты минимальной переработке, такой как извлечение непрореагировавших углеводородов, разбавителя, воды и т.д., без существенного изменения молярного отношения  $H_2/CO$  в выходящем потоке реактора КЧО и/или синтез-газе (например, в выходящем потоке 15 реактора КЧО, синтез-

газе 17, синтез-газе 18). Например, вода может быть конденсирована и отделена от выходящего потока реактора КЧО и/или синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, синтез-газа 17, синтез-газа 18), например, в конденсаторе.

В одном аспекте описанный в изобретении способ может дополнительно включать (i) извлечение, по меньшей мере, части непрореагировавших углеводородов (например, непрореагировавших первых углеводородов, необязательно непрореагировавшего метана, необязательно непрореагировавших вторых углеводородов, необязательно непрореагировавших  $C_4+$  углеводородов) из выходящего потока реактора КЧО и/или синтез-газа (например, выходящего потока реактора КЧО 15, синтез-газа 17, синтез-газа 18) с получением извлеченных углеводородов; и (ii) рециркуляцию, по меньшей мере, части извлеченных углеводородов в реакторе КЧО 100. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, хотя в процессах КЧО могут быть достигнуты довольно высокие конверсии (например, конверсии равные или больше чем приблизительно 90%), непрореагировавшие углеводороды могут быть извлечены и рециркулированы назад в реактор КЧО 100. В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть извлеченных углеводородов может быть использована в качестве топлива (например, для предварительного нагрева смеси реагентов КЧО; для нагревания реактора крекинга) и/или подана в крекинг-установку 600.

В одном аспекте выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) могут иметь содержание  $CO_2$  меньше чем приблизительно 7, или же меньше чем приблизительно 6, или же меньше чем приблизительно 5, или же меньше чем приблизительно 4, или же меньше чем приблизительно 3, или же меньше чем приблизительно 2, или же меньше чем приблизительно 1, или же приблизительно от 0,1 до 7, или же приблизительно от 0,25 до 5 или, с другой стороны, приблизительно от 0,5 до 3 мол.%. Например, побочные реакции, представленные уравнениями (7) и/или (8), могут приводить к выходящему потоку реактора КЧО и/или синтез-газу (например, выходящему потоку реактора КЧО 15, синтез-газу 17, синтез-газу 18), который имеет содержание  $CO_2$  приблизительно от 0,1 до 7 мол.%

В одном аспекте выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) могут иметь содержание углеводородов меньше чем приблизительно 10, или же меньше чем приблизительно 7,5, или же меньше чем приблизительно 5, или же меньше чем приблизительно 4, или же меньше чем приблизительно 3, или же меньше чем приблизительно 2, или же меньше чем приблизительно 1, или же меньше чем приблизительно 0,1 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 0,01 мол.%

В некоторых аспектах, например, как показано на фиг. 1 и 3, описанный в изобретении способ может включать стадию подачи сырья крекинг-установки 60 в крекинг-установку 600 с получением потока продуктов крекинг-установки 65, богатого водородом потока 70 и потока извлечения углеводородов 71. В других аспектах, например, как показано на фиг. 2, описанный в изобретении способ может включать стадию подачи сырья крекинг-установки 60 в крекинг-установку 600 с получением потока продуктов крекинг-установки 65, бедного водородом потока 72 и потока извлечения углеводородов 71.

В одном аспекте крекинг-установка 600 включает реактор крекинга и узел разделения. В некоторых аспектах, например, как показано на фиг. 1 и 3, сырье крекинг-установки 60 может быть введено в реактор крекинга с получением потока продуктов реактора крекинга, где, по меньшей мере, часть потока продуктов реактора крекинга может быть введена в узел разделения с получением потока продуктов крекинг-установки 65, богатого водородом потока 70 и потока извлечения углеводородов 71. В других аспектах, например, как показано на фиг. 2, сырье крекинг-установки 60 может быть введено в реактор крекинга с получением потока продуктов реактора крекинга, где, по меньшей мере, часть потока продуктов реактора крекинга может быть введена в узел разделения с получением потока продуктов крекинг-установки 65, бедного водородом потока 72 и потока извлечения углеводородов 71.

Крекинг-установка 600 может включать любую подходящую крекинг-установку, выполненную с возможностью превращения насыщенных углеводородов (например, алканов) в олефины. Например, крекинг-установка 600 может включать любой подходящий реактор крекинга, выполненный с возможностью превращения сырья крекинг-установки 60, содержащего вторые углеводороды (например, насыщенные углеводороды, алканы), в поток продуктов реактора крекинга, содержащий олефины. Неограничивающие примеры крекинг-установок (например, реакторов крекинга), подходящих для использования в настоящем изобретении, включают установку термического крекинга (например, реактор термического крекинга), установку каталитического крекинга (например, реактор каталитического крекинга), установку парового крекинга (например, реактор парового крекинга) и т.п., или их комбинации. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, процессы термического крекинга, каталитические термические процессы, процессы парового крекинга и т.п. или их комбинации известны специалисту в данной области.

Без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что крекинг относится к эндотермической реакции, которая превращает алканы в олефины и водород. Обычно, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, в реактор крекинга должно быть подано тепло (например, тепловая энергия), чтобы провести реакцию крекинга, в результате которой обра-

зуются олефины. В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть тепла, которое использует реактор крекинга, может быть предоставлена реактором КЧО 100, как раскрыто в данном изобретении. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, технологического тепла реактора КЧО 100 может быть недостаточно для предоставления всего тепла, необходимого для реактора крекинга. В одном аспекте может быть сожжен поток топлива для подачи дополнительного тепла, необходимого для реактора крекинга.

В некоторых аспектах реактор крекинга может включать узел газового крекинга (например, реактор газового крекинга). Например, в аспектах, где сырье крекинг-установки 60 содержит этан и/или пропан, реактор крекинга может включать узел газового крекинга.

В других аспектах реактор крекинга может включать узел жидкого крекинга (например, реактор жидкого крекинга). Например, в аспектах, где сырье крекинг-установки 60 содержит  $C_{4+}$  углеводороды, такие как бутаны, фракции нефти (например, сырье нефти) и т.п., или их комбинации, реактор крекинга может включать узел жидкого крекинга.

В одном аспекте вторые углеводороды, подходящие для подачи в крекинг-установку, как раскрыто в данном изобретении, могут включать насыщенные углеводороды, такие как алканы. Неограничивающие примеры вторых углеводородов, подходящих для подачи в крекинг-установку, как раскрыто в изобретении, могут включать алканы, этан, пропан, бутаны, нефть и т.п., или их комбинации. В некоторых аспектах первые углеводороды и вторые углеводороды могут быть одними и теми же. Например, исходная нефть может быть введена в реактор крекинга, а также в реактор КЧО. В других аспектах первые углеводороды и вторые углеводороды могут быть разными. В качестве другого примера, этан (например, вторые углеводороды) может быть введен в реактор крекинга, а метан (например, первые углеводороды) может быть введен в реактор КЧО.

В некоторых аспектах узел разделения крекинг-установки 600 может включать любой подходящий узел разделения, который выполнен с возможностью разделять поток продуктов реактора крекинга на поток продуктов крекинг-установки 65, богатый водородом поток 70 и поток извлечения углеводородов 71. В других аспектах блок разделения крекинг-установки 600 может включать любой подходящий узел разделения, который выполнен с возможностью разделять поток продуктов реактора крекинга на поток продуктов крекинг-установки 65, бедный водородом поток 72 и поток извлечения углеводородов 71.

Поток продуктов реактора крекинга содержит олефины (например, этилен, а также пропен, бутены и т.д.),  $H_2$ , метан и непрореагировавшие вторые углеводороды (например, алканы, этан, пропан, бутаны, нефть и т.п., или их комбинации). Например, в узле разделения крекинг-установки 600 могут быть использованы газожидкостное разделение, дистилляция, криогенная дистилляция, экстракционная дистилляция, селективная адсорбция, селективная абсорбция и т.п., или их комбинации. Узел разделения крекинг-установки 600 может включать газожидкостный сепаратор, дистилляционную колонну, криогенную дистилляционную колонну, тарельчатую и/или насадочную разделительную колонну, компрессор, теплообменник, градирню, узел адсорбции с перепадом давления (PSA) и т.д.

Узел разделения крекинг-установки 600 может включать газожидкостный сепаратор. В одном аспекте поток продуктов реактора крекинга может быть введен в газожидкостный сепаратор с получением потока извлечения углеводородов (например, потока извлечения углеводородов 71) и первого потока газа. Газожидкостный сепаратор крекинг-установки 600 может включать любой подходящий газожидкостный сепаратор, выполненный с возможностью разделения потока продуктов реактора крекинга на поток жидкости (например, поток извлечения углеводородов, такой как поток извлечения углеводородов 71) и первый поток газа. Например, газожидкостный сепаратор крекинг-установки 600 может включать парожидкостный сепаратор, испарительный барабан, газоотделитель, сборник конденсата, приемный сепаратор компрессора и т.д. Поток жидкости может быть извлечен из газожидкостного сепаратора крекинг-установки 600 в виде кубового потока. Поток жидкости, извлеченный из газожидкостного сепаратора крекинг-установки 600, может содержать  $C_{4+}$  углеводороды, такие как бутаны, бутены, бутadiен, пентан, пентены, гексаны, гексены, бензол, толуол, ксилол и т.п., или их комбинации. Первый поток газа может быть извлечен из газожидкостного сепаратора крекинг-установки 600 в виде верхнего потока. Первый поток газа, извлеченный из газожидкостного сепаратора крекинг-установки 600, может содержать  $H_2$ , метан, этан, этилен, пропан, пропилен,  $CO_2$ ,  $CO$  и т.п., или их комбинации. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, состав потока продуктов реактора крекинга, состав потока жидкости и состав первого потока газа зависят от множества факторов, таких как состав сырья крекинг-установки 60, тип крекинг-установки, рабочие условия крекинг-установки и т.д.

В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть олефинов и/или ароматических углеводородов может быть извлечена из потока жидкости с получением олефинов и/или ароматических углеводородов, соответственно, и потока извлечения углеводородов 71. В одном аспекте, по меньшей мере, часть 71а потока извлечения углеводородов 71 может быть подана в реактор КЧО 100. В одном аспекте, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 может быть использована в качестве топлива (например, для предварительного нагревания смеси реагентов КЧО; для нагревания реактора крекинга) и/или подана в крекинг-установку 600.

В одном аспекте первый поток газа может быть дополнительно подвергнут одной или нескольким стадиям разделения для извлечения олефинов (например, потока продуктов крекинг-установки 65). В другом аспекте первый поток газа может быть разделен на второй поток газа и поток продуктов крекинг-установки 65, например, с использованием любого подходящего способа разделения, такого как дистилляция, криогенная дистилляция, экстракционная дистилляция, селективная адсорбция, селективная абсорбция и т.п., или их комбинации. Поток продуктов крекинг-установки 65 может содержать олефины, такие как этилен и/или пропилен. В одном аспекте второй поток газа может содержать  $H_2$ ,  $CH_4$ , этан, пропан,  $CO_2$ ,  $CO$  и т.п., или их комбинации.

В некоторых аспектах поток продуктов крекинг-установки 65 может содержать олефины, такие как этилен, пропен, бутены и т.п., или их комбинации. Например, поток продуктов крекинг-установки 65 может содержать олефины, которые были извлечены из первого потока газа. В других аспектах поток продуктов крекинг-установки 65 может дополнительно содержать другие ненасыщенные углеводороды, такие как бутадиен,  $C_{5-6}$  олефины,  $C_{6-8}$  ароматические углеводороды и т.д. Например, поток продуктов крекинг-установки 65 может содержать олефины и другие ненасыщенные углеводороды, которые были извлечены из потока жидкости. Поток продуктов крекинг-установки 65 может быть также подвергнут дополнительным процессам очистки или разделения, например, для извлечения одного или нескольких компонентов. Например, этилен может быть извлечен из потока продуктов крекинг-установки 65, причем этилен может быть в дальнейшем использован в процессе полимеризации.

В аспектах, где реактор крекинга включает установку газового крекинга, такую как установка для крекинга этана и/или установка для крекинга пропана, второй поток газа может содержать довольно большие количества  $H_2$  (например, приблизительно от 5 до 65, или же приблизительно от 15 до 60 или, с другой стороны, приблизительно от 25 до 55 мас.%  $H_2$  из расчета на общую массу второго потока газа), и второй поток газа может быть назван "богатым водородом потоком" применительно к настоящему описанию (например, богатым водородом потоком 70). Богатый водородом поток (например, богатый водородом поток 70) может содержать довольно низкие количества углеводородов, таких как метан, непрореагировавшие углеводороды (например, этан, пропан) или их комбинации. Например, богатый водородом поток (например, богатый водородом поток 70) может содержать приблизительно от 35 до 95, или же приблизительно от 40 до 85 или, с другой стороны, приблизительно от 45 до 75 мас.% углеводородов (например, метана и необязательно этана и/или пропана) из расчета на общую массу богатого водородом потока (например, богатого водородом потока 70).

В аспектах, где реактор крекинга включает установку жидкого крекинга, такую как установка для крекинга нефти, второй поток газа может содержать довольно низкие количества  $H_2$  (например, приблизительно от 0,1 до 25, или же приблизительно от 0,5 до 15 или, с другой стороны, приблизительно от 1 до 10 мас.%  $H_2$  из расчета на общую массу второго потока газа), и второй поток газа может быть назван "бедным водородом потоком" применительно к настоящему описанию (например, бедный водородом поток 72). Бедный водородом поток (например, бедный водородом поток 72) может содержать довольно большие количества углеводородов, таких как метан, непрореагировавшие углеводороды (например, этан, пропан) или их комбинации. Например, бедный водородом поток (например, бедный водородом поток 72) может содержать приблизительно от 75 до 99,9, или же приблизительно от 85 до 99,5, или, с другой стороны, приблизительно от 85 до 99,5, или же от 90 до 99 мас.% углеводородов (например, метана и необязательно этана и/или пропана) из расчета на общую массу бедного водородом потока (например, бедного водородом потока 72).

В одном аспекте, по меньшей мере, часть бедного водородом потока 72 может быть подана в реактор КЧО 100. В другом аспекте, по меньшей мере, часть бедного водородом потока 72 может быть использована в качестве топлива (например, для предварительного нагревания смеси реагентов КЧО, для нагревания реактора крекинга) и/или подана в крекинг-установку 600.

Хотя настоящее описание подробно обсуждено в контексте обедненного водородом потока, извлеченного из крекинг-установки, который вводят в реактор КЧО, следует понимать, что любой подходящий бедный водородом поток может быть введен в реактор КЧО, где такой обедненный водородом поток содержит довольно низкие количества  $H_2$  (например, приблизительно от 0,1 до 25, или же приблизительно от 0,5 до 15 или, с другой стороны, приблизительно от 1 до 10 мас.%  $H_2$  из расчета на общую массу бедного водородом потока), а также довольно большие количества углеводородов (например, приблизительно от 75 до 99,9, или же приблизительно от 85 до 99,5, или же приблизительно от 90 до 99 мас.% углеводородов из расчета на общую массу бедного водородом потока). Например, бедный водородом поток может содержать поток газа из крекинг-установки, поток газа с нефтеперерабатывающего завода, поток топливного газа, топливный газ из коллектора топливного газа или их комбинации.

В одном аспекте, например, как показано на фиг. 1, по меньшей мере, часть 70b богатого водородом потока 70 может быть введена во второй узел извлечения водорода 700 (например, узел PSA, узел мембранного разделения, узел криогенного разделения и т.п., или их комбинации), чтобы дополнительно пополнить содержание  $H_2$  богатого водородом потока 70, например, для извлечения  $H_2$  из богатого водородом потока 70.

В одном аспекте, например, как показано на фиг. 1 и 3, по меньшей мере, часть 70c богатого водо-

родом потока 70 может быть введена в первый узел извлечения водорода 500 (например, узел PSA, узел мембранного разделения, узел криогенного разделения и т.п., или их комбинации), чтобы дополнительно пополнить содержание  $H_2$  богатого водородом потока 70; например, для извлечения  $H_2$  из богатого водородом потока 70. В таком аспекте богатый водородом поток 70 может быть сжат перед подачей в первый узел извлечения водорода 500. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, контуры производства метанола работают при довольно повышенных давлениях (например, приблизительно 70-100 бар(изб.)), и как такие потоки (например, по меньшей мере, часть 70с богатого водородом потока 70), которые вводят в реакционный контур метанола, должны быть сжаты, чтобы удовлетворить требования по давлению для контура производства метанола.

В некоторых аспектах первый узел извлечения водорода 500 и второй узел извлечения водорода 700 могут представлять собой один и тот же узел извлечения водорода. В других аспектах первый узел извлечения водорода 500 и второй узел извлечения водорода 700 могут представлять собой разные узлы извлечения водорода.

В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть 70b богатого водородом потока 70 может быть разделена на обогащенный водородом поток 75 и обогащенный углеводородами поток 76 на втором узле извлечения водорода 700. Обогащенный водородом поток 75 содержит, по меньшей мере, часть  $H_2$  богатого водородом потока 70 и необязательно углеводороды (например, углеводороды, которые присутствовали в богатом водородом потоке 70, такие как метан, и необязательно этан и/или пропан). Обогащенный углеводородами поток 76 содержит, по меньшей мере, часть углеводородов (например, метан и необязательно этан и/или пропан) богатого водородом потока 70 и необязательно водород. В одном аспекте количество  $H_2$  в обогащенном водородом потоке 75 больше, чем количество  $H_2$  в богатом водородом потоке 70. В одном аспекте количество углеводородов в обогащенном углеводородами потоке 76 больше, чем количество углеводородов в богатом водородом потоке 70.

В одном аспекте, по меньшей мере, часть 76а обогащенного углеводородами потока 76 может быть подана в реактор КЧО 100. В одном аспекте, по меньшей мере, часть обогащенного углеводородами потока 76 может быть использована в качестве топлива (например, для предварительного нагревания смеси реагентов КЧО; для нагревания реактора крекинга) и/или подана в крекинг-установку 600.

В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть 71а потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть богатого водородом потока 70 могут быть поданы в реактор КЧО 100, например, посредством смеси реагентов КЧО 10. Поток извлечения углеводородов 71 и/или богатый водородом поток 70 могут предоставлять дополнительные (например, вспомогательные) углеводороды для участия в реакции КЧО в реакторе КЧО 100.

В других аспектах, например, как показано на фиг. 2, по меньшей мере, часть 71а потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть бедного водородом потока 72 могут быть поданы в реактор КЧО 100, например, посредством смеси реагентов КЧО 10. Поток извлечения углеводородов 71 и/или бедный водородом поток 72 могут предоставлять дополнительные (например, вспомогательные) углеводороды для участия в реакции КЧО в реакторе КЧО 100.

В еще одних аспектах, например, как показано на фиг. 3, по меньшей мере, часть 71а потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть 76а обогащенного углеводородами потока 76 могут быть поданы в реактор КЧО 100, например, посредством смеси реагентов КЧО 10. Поток извлечения углеводородов 71 и/или обогащенный углеводородами поток 76 могут предоставлять дополнительные (например, вспомогательные) углеводороды для участия в реакции КЧО в реакторе КЧО 100.

Водород ( $H_2$ ), присутствующий в смеси реагентов КЧО 10 (например, в богатом водородом потоке 70, бедном водородом потоке 72, обогащенном углеводородами потоке 76), может сгорать в реакторе КЧО 100 в присутствии кислорода, тем самым дополнительно повышать температуру внутри реактора КЧО 100. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, контролируемое повышение температуры внутри реактора КЧО (в отличие от неконтролируемой быстро растущей температуры) может повысить селективность процесса КЧО по СО и  $H_2$ , тем самым обеспечивая получаемый выходящий поток реактора КЧО и/или синтез-газ (например, выходящий поток реактора КЧО 15, синтез-газ 17, синтез-газ 18) с повышенным молярным отношением  $H_2/CO$  (например, равным или больше чем приблизительно 2,0). Дополнительное технологическое тепло, генерируемое в процессе КЧО за счет введения  $H_2$  в реактор КЧО 100, может быть также использовано для нагревания реактора крекинга, как показано в данном изобретении. Однако, как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, количество  $H_2$ , которое может быть введено в реактор КЧО 100, диктуется (например, регулируется) возможностью управления (например, возможностью регулировать) тепло в реакторе КЧО, чтобы предупредить неконтролируемые быстро растущие температуры.

В одном аспекте смесь реагентов КЧО 10 может содержать  $H_2$  в количестве меньше чем приблизительно 20, или же меньше чем приблизительно 17,5, или же меньше чем приблизительно 15, или же меньше чем приблизительно 14, или же меньше чем приблизительно 12,5, или же меньше чем приблизительно 10 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 5 мол.%

В одном аспекте богатый водородом поток 70 может быть подан в реактор КЧО 100 в количестве, эффективном для обеспечения меньше чем приблизительно 20 или, с другой стороны, меньше чем при-

близительно 14 мол.%  $H_2$  в смеси реагентов КЧО 10.

В одном аспекте бедный водородом поток 72 может быть подан в реактор КЧО 100 в количестве, эффективном для обеспечения меньше чем приблизительно 20 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 14 мол.%  $H_2$  в смеси реагентов КЧО 10.

В одном аспекте обогащенный углеводородами поток 76 может быть подан в реактор КЧО 100 в количестве, эффективном для обеспечения меньше чем приблизительно 20 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 14 мол.%  $H_2$  в смеси реагентов КЧО 10.

В аспектах, где поток извлечения углеводородов и/или богатый водородом поток вводят в реактор КЧО 100, отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$  выходящего потока реактора КЧО 15 может быть больше, чем отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$ , соответственно, синтез-газа, получаемого в аналогичном во всем остальном процессе, в котором смесь реагентов КЧО подают в реактор КЧО без потока извлечения углеводородов и/или без богатого водородом потока.

В аспектах, где поток извлечения углеводородов и/или бедный водородом поток вводят в реактор КЧО 100, отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа 17 может быть больше, чем отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$ , соответственно, синтез-газа, получаемого в аналогичном во всем остальном процессе, в котором смесь реагентов КЧО подают в реактор КЧО без потока извлечения углеводородов и/или без бедного водородом потока.

В аспектах, где поток извлечения углеводородов и/или обогащенный углеводородами поток вводят в реактор КЧО 100, отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа 18 может быть больше, чем отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$ , соответственно, синтез-газа, получаемого в аналогичном во всем остальном процессе, в котором смесь реагентов КЧО подают в реактор КЧО без потока извлечения углеводородов и/или без обогащенного углеводородами потока.

В одном аспекте, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть обедненного углеводородами потока 72 могут быть рециркулированы в реактор крекинга, например, через сырье крекинг-установки 60. В одном аспекте, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть обедненного углеводородами потока 72 может быть использована в качестве топлива, например, для нагревания реактора крекинга и/или предварительного нагревания смеси реагентов КЧО.

В одном аспекте, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть обогащенного углеводородами потока 76 могут быть рециркулированы в реактор крекинга, например, через сырье крекинг-установки 60. В одном аспекте, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть обогащенного углеводородами потока 76 могут быть использованы в качестве топлива, например, для нагревания реактора крекинга и/или предварительного нагревания смеси реагентов КЧО.

В одном аспекте, по меньшей мере, часть богатого водородом потока 70 может быть введена в контакт, по меньшей мере, с частью выходящего потока реактора КЧО 15 с получением обогащенного водородом синтез-газа 16, например, как показано на фиг. 1. Молярное отношение  $H_2/CO$  в обогащенном водородом синтез-газе 16 больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  выходящего потока реактора КЧО 15. Отношение М обогащенного водородом синтез-газа 16 больше, чем отношение М выходящего потока реактора КЧО 15.

В другом аспекте, по меньшей мере, часть синтез-газа 18 может быть введена в контакт, по меньшей мере, с частью обогащенного водородом потока 75 и необязательно, по меньшей мере, с частью 70а богатого водородом потока 70 с получением обогащенного водородом синтез-газа 19, например, как показано на фиг. 3. Молярное отношение  $H_2/CO$  в обогащенном водородом синтез-газе 19 больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  в синтез-газе 18. Отношение М обогащенного водородом синтез-газа 19 больше, чем отношение М синтез-газа 18.

Обогащенный водородом синтез-газ 16, 19, как описано в данном изобретении, может быть охарактеризован молярным отношением  $H_2/CO$  больше чем приблизительно 1,8, или же больше чем приблизительно 1,9, или же больше чем приблизительно 2,0, или же больше чем приблизительно 2,1 или, с другой стороны, больше чем приблизительно 2,2. В одном аспекте обогащенный водородом синтез-газ 16, 19, как описано в данном изобретении, может быть охарактеризован отношением М, равным или больше чем приблизительно 1,8, или же равным или больше чем приблизительно 2,0, или же равным или больше чем приблизительно 2,1, или же приблизительно от 1,8 до 2,4, или же приблизительно от 1,9 до 2,3 или, с другой стороны, приблизительно от 2,0 до 2,2.

В одном аспекте обогащенный водородом синтез-газ 16, 19, как раскрыто в данном изобретении, может содержать  $CO_2$  в количестве меньше чем приблизительно 7, или же меньше чем приблизительно 6, или же меньше чем приблизительно 5, или же меньше чем приблизительно 4, или же меньше чем приблизительно 3, или же меньше чем приблизительно 2, или же меньше чем приблизительно 1, или же приблизительно от 0,1 до 7, или же приблизительно от 0,25 до 5 или, с другой стороны, приблизительно от 0,5 до 3 мол.% Количество  $CO_2$  в обогащенном водородом синтез-газе 16 может быть меньше количества  $CO_2$  в выходящем потоке реактора КЧО 15. Количество  $CO_2$  в обогащенном водородом синтез-газе 19 может быть меньше количества  $CO_2$  в синтез-газе 18. Как будет понятно специалисту в данной области

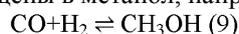
техники, а также с помощью данного описания, водород-содержащие потоки, извлеченные из крекинг-установки 600, могут иметь пониженное содержание  $\text{CO}_2$  по сравнению с выходящим потоком реактора КЧО 100. Следовательно, объединение водород-содержащих потоков, извлеченных из крекинг-установки 600, с выходящим потоком из реактора КЧО 100 может привести к потоку с пониженным содержанием  $\text{CO}_2$  по сравнению с выходящим потоком из реактора КЧО 100.

В одном аспекте обогащенный водородом синтез-газ 16, 19, как раскрыто в данном изобретении, может содержать углеводороды в количестве меньше чем приблизительно 5, или же меньше чем приблизительно 4, или же меньше чем приблизительно 3, или же меньше чем приблизительно 2, или же меньше чем приблизительно 1, или же меньше чем приблизительно 0,1 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 0,01 мол.%. Количество углеводородов в обогащенном водородом синтез-газе 16 может быть меньше количества углеводородов в выходящем потоке реактора КЧО 15. Количество углеводородов в обогащенном водородом синтез-газе 19 может быть меньше количества углеводородов в синтез-газе 18. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, водород-содержащие потоки, извлеченные из крекинг-установки 600, могут иметь пониженное содержание углеводородов по сравнению с выходящим потоком из реактора КЧО 100. Следовательно, объединение водород-содержащих потоков, извлеченных из крекинг-установки 600, с выходящим потоком из реактора КЧО 100, может привести к потоку с пониженным содержанием углеводородов по сравнению с выходящим потоком из реактора КЧО 100.

В аспектах, где синтез-газ (например, синтез-газ 17, 18; обогащенный водородом синтез-газ 16, 19) характеризуется отношением М приблизительно от 1,8 до 2,2, синтез-газ может быть в дальнейшем использован при производстве метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

В одном аспекте способ производства метанола, раскрытый в данном изобретении, может включать введение, по меньшей мере, части синтез-газа (например, синтез-газа 17, синтез-газа 18, обогащенного водородом синтез-газа 16, обогащенного водородом синтез-газа 19 или их комбинаций) в метанольный реактор 200 с получением выходящего потока метанольного реактора 30; где выходящий поток метанольного реактора 30 содержит метанол, воду,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и углеводороды. Метанольный реактор 200 может представлять собой любой реактор, подходящий для реакции синтеза метанола из  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ , такой как, например, реактор с тонким струйным слоем, реактор с псевдооживленным слоем, суспензионный реактор, петлевой реактор, охлаждаемый многотрубный реактор и т.п., или их комбинации.

Обычно  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  могут быть превращены в метанол, например, как представлено уравнением (9):



Также  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  также могут быть превращены в метанол, например, как представлено уравнением (10):



Без намерения быть связанными какой-либо теорией считают, что чем ниже содержание  $\text{CO}_2$  в синтез-газе, тем меньше количество воды, произведенной в метанольном реакторе 200. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, синтез-газ, полученный с помощью ПРМ, имеет довольно высокое содержание  $\text{H}_2$  (по сравнению с содержанием  $\text{H}_2$  в синтез-газе, произведенном с помощью КЧО), а синтез-газ с повышенным содержанием  $\text{H}_2$  может способствовать превращению  $\text{CO}_2$  в метанол, например, как представлено уравнением (10), что, в свою очередь, может приводить к повышенному содержанию воды в потоке сырого метанола (например, в потоке сырого метанола 40).

Синтез метанола из  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  является каталитическим процессом и чаще всего его проводят в присутствии катализаторов на основе меди. Метанольный реактор 200 может содержать катализатор для производства метанола, такой как любой подходящий коммерческий катализатор, используемый для синтеза метанола. Неограничивающие примеры катализаторов для производства метанола, подходящих для использования в метанольном реакторе 200 в настоящем изобретении, включают  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cu}/\text{ZnO}$ ,  $\text{Cu}/\text{ThO}_2$ ,  $\text{Cu}/\text{Zn}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu}/\text{Zr}$  и т.п., или их комбинации.

В одном аспекте способ производства метанола, раскрытый в данном изобретении, может включать стадию разделения, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора 30 на поток сырого метанола 40 и поток пара 50; где поток сырого метанола 40 содержит метанол и воду; где поток пара 50 содержит  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и углеводороды (например, первые углеводороды и/или вторые углеводороды). Выходящий поток метанольного реактора 30 может быть разделен на поток сырого метанола 40 и поток пара 50 в газожидкостном сепараторе 300, таком как парожидкостный сепаратор, испарительный барабан, газоотделитель, сборник конденсата, приемный сепаратор компрессора и т.д.

В одном аспекте способ производства метанола, раскрытый в данном изобретении, может включать стадию разделения, по меньшей мере, части потока 40 сырого метанола в дистилляционном узле 400 на поток метанола 45 и поток воды 46, при этом дистилляционный узел 400 включает одну или несколько дистилляционных колонн. Поток воды 46 содержит воду и остаточный метанол. Обычно одна или несколько дистилляционных колонн могут разделять компоненты потока сырого метанола 40 на основе их точек кипения. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, чем выше содержание воды в потоке сырого метанола 40, тем больше дистилляционных

колонн необходимо для очистки метанола.

В одном аспекте поток метанола 45 может содержать метанол в количестве равном или больше чем приблизительно 95, или же равном или больше чем приблизительно 97,5, или же равном или больше чем приблизительно 99 или, с другой стороны, равным или больше чем приблизительно 99,9 мас.% из расчета на общую массу потока метанола 45.

В одном аспекте способ производства метанола, раскрытый в данном изобретении, может включать стадию разделения, по меньшей мере, части потока пара 50 на поток водорода 51 и поток остаточного газа 52; где поток водорода 51 содержит, по меньшей мере, часть  $H_2$  потока пара 50; где поток остаточного газа 52 содержит  $CO$ ,  $CO_2$  и углеводороды (например, первые углеводороды и/или вторые углеводороды). Поток пара 50 может быть разделен на поток водорода 51 и поток остаточного газа 52 в узле извлечения водорода 500, таком как узел PSA, узел мембранного разделения, узел криогенного разделения и т.п., или их комбинации. В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть 70с богатого водородом потока 70 может быть введена в первый узел извлечения водорода 500.

В одном аспекте способ производства метанола, раскрытый в данном изобретении, может включать рециркуляцию, по меньшей мере, части 51а потока водорода 51 в метанольный реактор 200, например, посредством подачи синтез-газа в реактор 200 метанола.

В некоторых аспектах, по меньшей мере, часть потока остаточного газа 52 может быть удалена. В других аспектах, по меньшей мере, часть потока остаточного газа 52 может быть использована в качестве топлива, например, для предварительного нагревания смеси реагентов КЧО 10, нагревания реактора крекинга в крекинг-установке 600 и т.п., или их комбинации.

В других аспектах, по меньшей мере, часть 52а потока остаточного газа 52 может быть подана в реактор КЧО 100. В других аспектах, по меньшей мере, часть потока остаточного газа 52 может быть подана в реактор крекинга.

В одном аспекте способ производства метанола и олефинов, раскрытый в данном изобретении, может включать стадии (а) подачи сырья крекинг-установки 60 в крекинг-установку 600 с получением потока продуктов крекинг-установки 65, богатого водородом потока 70 и поток извлечения углеводородов 71; где сырье крекинг-установки 60 содержит вторые углеводороды; где поток продуктов крекинг-установки 65 содержит олефины; где богатый водородом поток 70 содержит  $H_2$ , метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды; и где поток извлечения углеводородов 71 содержит  $C_{4+}$  углеводороды; (b) введение, по меньшей мере, части 70b богатого водородом потока 70 во второй узел извлечения водорода 700 с получением обогащенного водородом потока 75 и обогащенного углеводородами потока 76; где обогащенный водородом поток 75 содержит, по меньшей мере, часть  $H_2$  богатого водородом потока 70; и где обогащенный углеводородами поток 76 содержит, по меньшей мере, часть углеводородов богатого водородом потока 70; (с) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) 10 в реактор КЧО 100; где смесь реагентов КЧО 10 содержит кислород, первые углеводороды, необязательно, по меньшей мере, часть 71а потока извлечения углеводородов 71 и/или, по меньшей мере, часть 76а обогащенного углеводородами потока 76 и необязательно водяной пар; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где, по меньшей мере, часть углеводородов в смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО 100 с получением синтез-газа 18; где углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, необязательно метан, необязательно вторые углеводороды и необязательно  $C_{4+}$  углеводороды; где реактор КЧО 100 содержит катализатор КЧО; где синтез-газ 18 содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды, где синтез-газ 18 характеризуется отношением  $M$  синтез-газа 18, где отношение  $M$  представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2)$ ; и где синтез-газ 18 характеризуется молярным отношением  $H_2$  к  $CO$  ( $H_2/CO$ ) синтез-газа 18; (d) введение в контакт, по меньшей мере, части синтез-газа 18, по меньшей мере, с частью обогащенного водородом потока 75 с получением обогащенного водородом синтез-газа 19; причем обогащенный водородом синтез-газ 19 характеризуется отношением  $M$  обогащенного водородом синтез-газа 19, где отношение  $M$  обогащенного водородом синтез-газа 19 больше, чем отношение  $M$  синтез-газа 18; где обогащенный водородом синтез-газ 19 характеризуется молярным отношением  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа 19, и где молярное отношение  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа 19 больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа 18; (e) введение, по меньшей мере, части обогащенного водородом синтез-газа 19 в метанольный реактор 200 с получением выходящего потока метанольного реактора 30; где выходящий поток метанольного реактора 30 содержит метанол, воду,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (f) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора 30 на поток сырого метанола 40 и поток пара 50; где поток сырого метанола 40 содержит метанол и воду; и где поток пара 50 содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (g) введение, по меньшей мере, части потока пара 50 в первый узел извлечения водорода 500 с получением потока водорода 51 и потока остаточного газа 52, где поток водорода 51 содержит, по меньшей мере, часть  $H_2$  потока пара 50, и где поток остаточного газа 52 содержит  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (h) рециркуляцию, по меньшей мере, части 51а потока водорода 51 в ме-

танольный реактор 200; (i) необязательно рециркуляцию, по меньшей мере, части 52а потока остаточного газа 52 в реакторе КЧО 100; (j) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола 40 на поток метанола 45 и поток воды 46 в дистилляционном узле 400; и (k) необязательно охлаждение 13 реактора КЧО 100; где охлаждение 13 реактора КЧО 100 включает нагревание 13' крекинг-установки 600 при одновременном охлаждении 13 КЧО-реактора 100 за счет теплопередачи между реактором КЧО 100 и крекинг-установкой 600. В таком аспекте отношение М обогащенного водородом синтез-газа 19 может быть равно или больше чем приблизительно 1,8, а молярное отношение  $H_2/CO$  в обогащенном водородом синтез-газе 19 может быть больше чем приблизительно 2,0. В таком аспекте вторые углеводороды могут содержать этан, где крекинг-установка 600 может включать крекинг-установку этана, и где олефины содержат этилен.

В одном аспекте способ, раскрытый в данном изобретении, может включать настройку модульной системы для производства олефинов и метанола, где модульная система может включать крекинг-установку (например, крекинг-установку 600); узел КЧО (например, реактор КЧО 100); и узел производства метанола. Каждый узел модульной системы может быть установлен на подвижной платформе (например, на модульном основании) и может быть транспортирован и размещен на площадке нефтяной или газовой скважины для производства олефинов и метанола. Каждый узел модульной системы, установленный на подвижной платформе, может быть преимущественно перемещен в удаленные места, например удаленное место с устьями газодобывающих скважин (например, устьями скважин для добычи природного газа и/или попутного газа и т.д.). Часть газообразных углеводородов в удаленном месте может быть превращена в синтез-газ с последующим синтезом метанола, и в этом случае от удаленного места выгодно транспортировать жидкий метанол (в отличие от природного газа, попутного газа и т.д.). Жидкостные трубопроводы обычно более выгодны по сравнению с газопроводами. В некоторых аспектах полученные олефины можно сжимать, хранить, транспортировать и т.д.

В варианте осуществления настройка, по меньшей мере, одной модульной системы для переработки неиспользуемого труднодоступного газа на участке ствола скважины может включать транспортировку каждого узла модульной системы к участку ствола скважины, где каждый узел можно транспортировать одновременно, последовательно или в их комбинации относительно других узлов. Соответственно, размер и конфигурация каждого узла будут такими, чтобы облегать транспортировку на буровую площадку. Например, узел для обслуживания на наземных участках может иметь размеры и конфигурацию для наземного транспорта (например, для размещения на прицепе или модульном основании) в качестве стандартного или негабаритного транспортного средства с тягачом и прицепом. Узел для обслуживания на морских площадках может иметь размер и конфигурацию для перевозки на судне (например, для размещения на барже или модульном основании). При необходимости каждый узел можно хранить в стволе скважины. Каждый узел может быть размещен и/или позиционирован на буровой площадке в виде совместного структурного размещения или расположения (в том числе на различных отметках, если это необходимо, например, для ускорения гравитационного потока).

В одном аспекте способ производства синтез-газа и олефинов, раскрытый в данном изобретении, преимущественно может показывать улучшения по одной или нескольким характеристикам процесса по сравнению с другим аналогичным во всем остальном процессе, который интегрирует реактор КЧО с крекинг-установкой. В способе, раскрытом в данном изобретении, может быть выгодно использовать отходящий газ крекинг-установки, обогащенный углеводородами, в качестве сырья для реактора КЧО, а также богатый водородом отходящий газ крекинг-установки для увеличения содержания  $H_2$  выходящего потока реактора КЧО. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, так как реакция КЧО является экзотермической, требуется очень небольшая подача тепла в виде сжигания топлива (например, для предварительного нагревания реагентов в реакционной смеси, которую подают на участок производства синтез-газа) по сравнению с обычным паровым риформингом. По существу, описанный здесь способ производства синтез-газа может преимущественно давать меньше  $CO_2$  из-за сжигания топлива по сравнению с паровым риформингом.

Кроме того, описанный здесь способ может утилизировать технологическое тепло реактора КЧО для нагревания крекинг-установки, тем самым предотвращая быстро растущие температуры в реакторе КЧО (например, в слое катализатора КЧО), которые приводят к дезактивации катализатора. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью данного описания, работа реактора КЧО при относительно низком отношении  $C/O$  (например, меньше чем приблизительно 2:1) может привести к быстро растущим температурам, и, следовательно, отведение тепла из реактора КЧО преимущественно может обеспечивать работу реактора

КЧО при относительно низких отношениях  $C/O$ .

В одном аспекте богатый водородом поток 70 может быть преимущественно смешан со смесью реагентов КЧО 10, так что полученная смесь реагентов КЧО 10 имеет содержание  $H_2$  меньше чем приблизительно 20 мол.% или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 14 мол.%, что дает возможность использовать углеводороды в богатом водородом потоке 70 в реакции КЧО. Как будет понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью настоящего описания, богатый водородом поток 70 получают, когда реактор крекинга представляет собой крекинг-установку этана. Кроме того, как будет

понятно специалисту в данной области техники, а также с помощью этого описания, крекинг сырья, отличного от этана, приводит к выходящему потоку крекинг-установки, который имеет низкое содержание  $H_2$  в отходящем газе, что приводит к получению бедного водородом потока (например, бедного водородом потока 72). В одном аспекте бедный водородом поток 72 может быть преимущественно смешан со смесью реагентов КЧО 10, при этом полученная смесь реагентов КЧО 10 имеет содержание  $H_2$  меньше чем приблизительно 20 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 14 мол.%

В одном аспекте отходящий газ крекинг-установки (например, богатый водородом поток 70) имеет более высокое содержание  $H_2$ , чем бедные водородом потоки, полученные в результате крекинга сырья, отличного от этана, и как таковой богатый водородом поток 70 может быть подвергнут разделению  $H_2$  и непрореагировавших углеводородов, что может быть выполнено с использованием существующего узла разделения водорода (например, первого узла извлечения  $H_2$  500) в метанольном контуре или с помощью отдельного узла (например, второго узла извлечения  $H_2$  700). Водород ( $H_2$ ), извлеченный в узлах извлечения водорода 500, 700, может быть предпочтительно рециркулирован 51а, 75 на вход метанольного контура, а непрореагировавшие углеводороды могут быть преимущественно рециркулированы 52а, 76а в реакторе КЧО 100. Как раскрыто в данном изобретении, в аспектах, где отходящий газ крекинг-установки этана (например, богатый водородом поток 70) вводят непосредственно (например, без разделения, без извлечения водорода) в подачу реактора КЧО (например, в смесь реагентов КЧО 10), полученная смесь реагентов КЧО 10 может иметь содержание  $H_2$  меньше чем приблизительно 20 или, с другой стороны, меньше чем приблизительно 14 мол.% в объединенной подаче в реактор КЧО.

В одном аспекте способ производства синтез-газа и олефинов, раскрытый в данном изобретении, может преимущественно включать введение, по меньшей мере, части 70с богатого водородом потока 70 после сжатия в первый узел извлечения  $H_2$  500 метанольного контура. В таком аспекте способ производства синтез-газа и олефинов, раскрытый в данном изобретении, может преимущественно включать введение, по меньшей мере, части 52а остатка в виде потока 52 из части продувочного потока из первого узла извлечения  $H_2$  500 в реактор КЧО 100 посредством смеси реагентов КЧО 10. В таком аспекте углеводороды в богатом водородом потоке 70 будут в меньшей степени накапливаться или не будут накапливаться в метанольном контуре, что уменьшает размер оборудования метанольного контура. В таком аспекте углеводороды в богатом водородом потоке 70 могут быть успешно превращены в синтез-газ в реакторе КЧО 100. В таком аспекте второй узел извлечения  $H_2$  (например, второй узел извлечения  $H_2$  700) может быть успешно исключен. Дополнительные преимущества способов производства синтез-газа и/или метанола, раскрытых в данном изобретении, могут быть очевидны специалисту в данной области, рассматривающему это описание.

Примеры.

Поскольку объект изобретения описан в целом, следующие примеры даны как частные варианты осуществления изобретения и демонстрируют его практическое применение и преимущества. Понятно, что примеры даны для иллюстрации и не предназначены для ограничения каким-либо образом описания прилагаемой формулы изобретения.

Пример 1.

Выходы от крекинга легкого углеводородного сырья посредством обычного процесса крекинга (например, процесса газового крекинга) представлены в табл.

Типичные выходы для легкого углеводородного сырья

|  | Этан (%) | Пропан (%) | Бутан (%) |
|--|----------|------------|-----------|
| Конверсия за проход                            | 60       | 90         | 95        |
| Выход за проход (% масс.)                      |          |            |           |
| CO/CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S           | 0,20     | 0,2        | 0,4       |
| H <sub>2</sub>                                 | 3,5      | 1,5        | 1,0       |
| CH <sub>4</sub>                                | 4,3      | 23,8       | 22,5      |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>                  | 0,2      | 0,7        | 0,5       |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                  | 47,7     | 36,5       | 34,5      |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                  | 40,0     | 3,2        | 4,5       |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>                  | 0,05     | 0,5        | 0,4       |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                  | 1,15     | 14,7       | 16,5      |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                  | 0,4      | 10,0       | 0,4       |
| C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>                  | 1,4      | 2,65       | 3,5       |
| C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>                  | 0,15     | 1,15       | 3,2       |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                 | 0,25     | Н.о.       | 3,4       |
| C <sub>5+</sub>                                | 0,7      | 5,1        | 9,2       |
| ВСЕГО  | 100      | 100        | 100       |
| Итоговый выход этилена, включая потоки рецикла | 80       | 45,5       | 38,4      |

Дополнительное описание.

Первый аспект, который представляет собой способ производства синтез-газа и олефинов, включающий (а) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реактор КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды и необязательно водяной пар; где, по

меньшей мере, часть смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением выходящего потока реактора КЧО; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где выходящий поток реактора КЧО содержит водород ( $H_2$ ), монооксид углерода (СО), диоксид углерода ( $CO_2$ ), воду и непрореагировавшие первые углеводороды; и где выходящий поток реактора КЧО характеризуется отношением М выходящего потока реактора КЧО, где отношение М представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2)$ ; (b) подачу сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, богатого водородом потока и потока извлечения углеводородов; где сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где богатый водородом поток содержит  $H_2$ , метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды; и (c) введение в контакт, по меньшей мере, части выходящего потока реактора КЧО, по меньшей мере, с частью богатого водородом потока с получением обогащенного водородом синтез-газа; где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется отношением М обогащенного водородом синтез-газа, и где отношение М обогащенного водородом синтез-газа больше, чем отношение М выходящего потока реактора КЧО.

Второй аспект, который представляет собой способ первого аспекта, в котором первые углеводороды и/или вторые углеводороды содержат метан, этан, пропан, бутаны, нефть, природный газ, природный газоконденсат, попутный газ, устьевой газ, обогащенный газ, парафины, сланцевый газ, сланцевые жидкости, отходящий газ флюид-каталитического крекинга (ФКК), технологические газы нефтепереработки, дымовые газы, топливный газ из коллектора топливного газа или их комбинации; и где олефины содержат этилен.

Третий аспект, который представляет собой способ любого из первого и второго аспектов, в котором обогащенный водородом синтез-газ содержит диоксид углерода в количестве приблизительно от 0,25 до 5 мол.%

Четвертый аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с первого по третий, в котором крекинг-установка включает реактор крекинга и узел разделения; и где способ дополнительно включает охлаждение реактора КЧО; где охлаждение реактора КЧО включает нагревание реактора крекинга при одновременном охлаждении реактора КЧО за счет теплопередачи между реактором КЧО и реактором крекинга.

Пятый аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с первого по четвертый, в котором реактор КЧО характеризуется, по меньшей мере, одним рабочим параметром КЧО, выбранным из группы, состоящей из температуры подачи КЧО приблизительно от 25 до 600°C; температуры выходящего потока КЧО приблизительно от 300 до 1600°C; давления КЧО приблизительно от 1 до 90 бар(изб); времени контакта КЧО приблизительно от 0,001 миллисекунды (мсек) до 5 секунд (сек); молярного отношения углерода к кислороду (С/О) в смеси реагентов КЧО приблизительно от 0,5:1 до 3:1, где молярное отношение С/О означает общее количество молей углерода (С) углеводородов в смеси реагентов, поделенное на общее количество молей кислорода ( $O_2$ ) в смеси реагентов; молярного отношения водяного пара к углероду (П/С) в смеси реагентов КЧО приблизительно от 0,01:1 до меньше чем 2,4:1, где молярное отношение П/С означает общее количество молей воды ( $H_2O$ ) в смеси реагентов, поделенное на общее количество молей углерода (С) углеводородов в смеси реагентов; и их комбинаций.

Шестой аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с первого по пятый, в котором отношение М обогащенного водородом синтез-газа равно или больше чем приблизительно 1,8.

Седьмой аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с первого по шестой, в котором обогащенный водородом синтез-газ характеризуется молярным отношением водорода к монооксиду углерода ( $H_2/CO$ ) больше чем приблизительно 2,0; и где молярное отношение  $H_2/CO$  в обогащенном водородом синтез-газе больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  выходящего потока реактора КЧО.

Восьмой аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с первого по седьмой, дополнительно включающий (i) введение, по меньшей мере, части обогащенного водородом синтез-газа в метанольный реактор с получением выходящего потока метанольного реактора; где выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду,  $H_2$ , СО,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды; (ii) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора на поток сырого метанола и поток пара; где поток сырого метанола содержит метанол и воду; и где поток пара содержит  $H_2$ , СО,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды; (iii) введение, по меньшей мере, части потока пара в первый узел извлечения водорода с получением потока водорода и потока остаточного газа, где поток водорода содержит, по меньшей мере, часть водорода потока пара, и где поток остаточного газа содержит СО,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды; (iv) рециркуляцию, по меньшей мере, части потока водорода в метанольный реактор; и (v) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола на поток метанола и поток воды.

Девятый аспект, который представляет собой способ восьмого аспекта, в котором (1), по меньшей мере, часть потока остаточного газа продувают, используют в качестве топлива, подают в реактор КЧО

на стадии (а) или их комбинации; и/или (2) по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов рециркулируют в крекинг-установку, используют в качестве топлива, подают в реактор КЧО на стадии (а) или их комбинации.

Десятый аспект, который представляет собой способ производства синтез-газа и олефинов, включающий (а) подачу сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, бедного водородом потока и потока извлечения углеводородов; где сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где бедный водородом поток содержит  $H_2$ , метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды; и (b) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реакторе КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды, по меньшей мере, часть бедного водородом потока и необязательно водяной пар и/или, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где, по меньшей мере, часть углеводородов в смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением синтез-газа; где углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, метан и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где синтез-газ содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды; где синтез-газ характеризуется отношением  $M$  синтез-газа, где отношение  $M$  представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2)$ ; и где синтез-газ характеризуется молярным отношением водорода к монооксиду углерода ( $H_2/CO$ ) синтез-газа.

Одиннадцатый аспект, который представляет собой способ десятого аспекта, в котором (1) отношение  $M$  синтез-газа равно или больше чем приблизительно 1,8; и/или (2) молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа больше чем приблизительно 2,0.

Двенадцатый аспект, который представляет собой способ по любому из десятого и одиннадцатого аспектов, в котором смесь реагентов СРО содержит водород в количестве меньше чем приблизительно 20 мол.%

Тринадцатый аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с десятого по двенадцатый, в котором отношение  $M$  и/или молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа больше, чем отношение  $M$  и/или молярное отношение  $H_2/CO$ , соответственно, синтез-газа, полученного в аналогичном во всем остальном процессе, в котором смесь реагентов КЧО подают в реактор КЧО без бедного водородом потока.

Четырнадцатый аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов от десятого по двенадцатый, дополнительно включающий (i) введение, по меньшей мере, части синтез-газа в метанольный реактор с получением выходящего потока метанольного реактора; где выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (ii) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора на поток сырого метанола и поток пара; где поток сырого метанола содержит метанол и воду; и где поток пара содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (iii) введение, по меньшей мере, части потока пара в первый узел извлечения водорода с получением потока водорода и потока остаточного газа, где поток водорода содержит, по меньшей мере, часть водорода потока пара, и где поток остаточного газа содержит  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (iv) рециркуляцию, по меньшей мере, части потока водорода в метанольный реактор; (v) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола на поток метанола и поток воды; и (vi) необязательно рециркуляцию, по меньшей мере, части потока остаточного газа в реакторе КЧО.

Пятнадцатый аспект, который представляет собой способ производства метанола и олефинов, включающий (а) подачу сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, богатого водородом потока и потока извлечения углеводородов; где сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где богатый водородом поток содержит  $H_2$ , метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды; (b) введение, по меньшей мере, части богатого водородом потока во второй узел извлечения водорода с получением обогащенного водородом потока и обогащенного углеводородами потока; где обогащенный водородом поток содержит, по меньшей мере, часть  $H_2$  богатого водородом потока; и где обогащенный углеводородами поток содержит, по меньшей мере, часть углеводородов богатого водородом потока; (c) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реакторе КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды, необязательно, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов и/или, по меньшей мере, часть обогащенного углеводородами потока и необязательно водяной пар; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где, по меньшей мере, часть углеводородов в смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением синтез-газа; где углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, необязательно метан, необязательно вторые углеводороды и необязательно  $C_{4+}$  углеводороды; где

реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где синтез-газ содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды; где синтез-газ характеризуется отношением  $M$  синтез-газа, где отношение  $M$  представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2)$ ; и где синтез-газ характеризуется молярным отношением  $H_2$  к  $CO$  ( $H_2/CO$ ) синтез-газа; (d) введение в контакт, по меньшей мере, части синтез-газа, по меньшей мере, с частью обогащенного водородом потока с получением обогащенного водородом синтез-газа; где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется отношением  $M$  обогащенного водородом синтез-газа, где отношение  $M$  обогащенного водородом синтез-газа больше, чем отношение  $M$  синтез-газа; где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется молярным отношением  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа, и где молярное отношение  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа; (e) введение, по меньшей мере, части обогащенного водородом синтез-газа в метанольный реактор с получением выходящего потока метанольного реактора; где выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (f) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора на поток сырого метанола и поток пара; где поток сырого метанола содержит метанол и воду; и где поток пара содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (g) введение, по меньшей мере, части потока пара в первый узел извлечения водорода с получением потока водорода и потока остаточного газа, где поток водорода содержит, по меньшей мере, часть  $H_2$  потока пара, и где поток остаточного газа содержит  $CO$ ,  $CO_2$ , метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (h) рециркуляцию, по меньшей мере, части потока водорода в метанольный реактор; (i) необязательно рециркуляцию, по меньшей мере, части потока остаточного газа в реакторе КЧО; (j) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола на поток метанола и поток воды; и (k) необязательно охлаждение реактора КЧО; где охлаждение реактора КЧО включает нагревание крекинг-установки при одновременном охлаждении реактора КЧО за счет теплопередачи между реактором КЧО и крекинг-установкой.

Шестнадцатый аспект, который представляет собой способ пятнадцатого аспекта, в котором отношение  $M$  обогащенного водородом синтез-газа равно или больше чем приблизительно 1,8, и где молярное отношение  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа больше чем приблизительно 2,0.

Семнадцатый аспект, который представляет собой способ по любому из пятнадцатого и шестнадцатого аспектов, в котором каждый из первого узла извлечения водорода и второго узла извлечения водорода может независимо включать узел адсорбции с перепадом давления (PSA), узел мембранного разделения, узел криогенного разделения или их комбинации.

Восемнадцатый аспект, который представляет собой способ по любому из аспектов с пятнадцатого по семнадцатый, в котором вторые углеводороды содержат этан; где крекинг-установка включает крекинг-установку этана; и где олефины содержат этилен.

Девятнадцатый аспект, который представляет собой способ производства синтез-газа, включающий подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реакторе КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды, по меньшей мере, часть бедного водородом потока и необязательно водяной пар; где бедный водородом поток содержит  $H_2$ , метан и необязательно  $C_{2-3}$  углеводороды; где, по меньшей мере, часть углеводородов в смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением синтез-газа; где углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, метан и необязательно  $C_{2-3}$  углеводороды; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где синтез-газ содержит  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , воду и непрореагировавшие углеводороды; и где смесь реагентов КЧО содержит  $H_2$  в количестве меньше чем приблизительно 15 мол.%

Двадцатый аспект, который представляет собой способ девятнадцатого аспекта, в котором бедный водородом поток содержит поток газа из крекинг-установки, поток газа с нефтеперерабатывающего завода, поток топливного газа, топливный газ из коллектора топливного газа или их комбинации.

Для целей подачи данной заявки на национальном уровне в США все публикации и патенты, упомянутые в этом описании, полностью включены в настоящее изобретение посредством ссылки для описания и раскрытия конструкций и методологий, описанных в этих публикациях, которые могли бы быть использованы в связи со способами настоящего изобретения. Любые публикации и патенты, обсуждаемые здесь, предоставлены исключительно для их раскрытия до даты подачи настоящей заявки. Ничто в данном изобретении не следует толковать как признание того, что изобретатели не имеют права датировать такое изобретение задним числом в силу предшествующего изобретения.

В любой заявке, поданной в Ведомство США по патентам и товарным знакам, предоставляется реферат этой заявки с целью удовлетворения требований 37 CFR § 1.72 и цели, изложенной в 37 CFR § 1.72 (b), "чтобы позволить Ведомству США по патентам и товарным знакам и общественности в целом быстро определить на основе беглого просмотра характер и суть технического раскрытия". Следовательно, реферат этой заявки не предназначен для использования при толковании объема формулы изобретения или для ограничения объема предмета, раскрытого в данном изобретении. Более того, любые заголовки, которые могут быть использованы в данном изобретении, также не предназначены для использования с целью толкования объема формулы изобретения или с целью ограничения объема предмета, раскрытого

в данном изобретении. Любое использование прошедшего времени для описания примера, иначе обозначенного как конструктивный или пророческий, не предназначено для отражения того, что конструктивный или пророческий пример действительно был приведен в исполнение.

Хотя представлены и описаны предпочтительные варианты осуществления изобретения, их модификации могут быть выполнены специалистом в данной области без отклонения от идей настоящего изобретения. Описанные в изобретении варианты осуществления являются только типичными и не предназначены для ограничения. Возможны многие изменения и модификации раскрытого изобретения, которые находятся в пределах объема изобретения.

Соответственно, объем защиты не ограничен приведенным выше описанием, а ограничен только приведенной ниже формулой изобретения, причем этот объем включает все эквиваленты объекта формулы изобретения. Каждый пункт формулы включен в описание как вариант осуществления настоящего изобретения. Таким образом, формула изобретения является дополнительным описанием и дополнением к подробному описанию настоящего изобретения. Описания всех патентов, патентных заявок и публикаций, цитируемых в данном изобретении, включены в изобретение посредством ссылки.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства синтез-газа и олефинов, включающий:

(а) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реакторе КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород и первые углеводороды; где, по меньшей мере, часть смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением выходящего потока реактора КЧО; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где выходящий поток реактора КЧО содержит водород ( $H_2$ ), монооксид углерода (СО), диоксид углерода ( $CO_2$ ), воду и непрореагировавшие первые углеводороды; и где выходящий поток реактора КЧО характеризуется отношением М выходящего потока реактора КЧО, где отношение М представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2)$ ;

(b) подачу сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, богатого водородом потока и потока извлечения углеводородов; где сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где богатый водородом поток содержит водород и метан; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды; и

(с) введение в контакт, по меньшей мере, части выходящего потока реактора КЧО, по меньшей мере, с частью богатого водородом потока с получением обогащенного водородом синтез-газа, где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется отношением М обогащенного водородом синтез-газа, и где отношение М обогащенного водородом синтез-газа больше, чем отношение М выходящего потока реактора КЧО.

2. Способ по п.1, в котором смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды и необязательно водяной пар.

3. Способ по п.1, в котором богатый водородом поток содержит водород, метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды.

4. Способ по п.1, в котором первые углеводороды и/или вторые углеводороды содержат метан, этан, пропан, бутаны, нефть, природный газ, природный газоконденсат, попутный газ, устьевой газ, обогащенный газ, парафины, сланцевый газ, сланцевые жидкости, отходящий газ флюид-каталитического крекинга (ФКК), технологические газы нефтеперерабатывающих заводов, дымовые газы, топливный газ из коллектора топливного газа или их комбинации; и где олефины содержат этилен.

5. Способ по п.1, в котором обогащенный водородом синтез-газ содержит диоксид углерода в количестве приблизительно от 0,25 до 5 мол. %.

6. Способ по п.1, в котором крекинг-установка включает реактор крекинга и узел разделения; и где способ дополнительно включает охлаждение реактора КЧО; где охлаждение реактора КЧО включает нагревание реактора крекинга при одновременном охлаждении реактора КЧО за счет теплопередачи между реактором КЧО и реактором крекинга.

7. Способ по п.1, в котором реактор КЧО характеризуется, по меньшей мере, одним рабочим параметром КЧО, выбранным из группы, состоящей из температуры подачи КЧО приблизительно от 25 до 600°C; температуры выходящего потока КЧО приблизительно от 300 до 1600°C; давления КЧО приблизительно от 1 до 90 бар(изб.); времени контакта КЧО приблизительно от 0,001 миллисекунды (мс) до 5 секунд (с); молярного отношения углерода к кислороду (С/О) в смеси реагентов КЧО приблизительно от 0,5:1 до 3:1, где молярное отношение С/О означает общее количество молей углерода (С) углеводородов в смеси реагентов, поделенное на общее количество молей кислорода ( $O_2$ ) в смеси реагентов; молярного отношения водяного пара к углероду (П/С) в смеси реагентов КЧО приблизительно от 0,01:1 до меньше чем 2,4:1, где молярное отношение П/С означает общее количество молей воды ( $H_2O$ ) в смеси реагентов, поделенное на общее количество молей углерода (С) углеводородов в смеси реагентов; и их комбинации.

8. Способ по п.1, в котором отношение М обогащенного водородом синтез-газа равно или больше

чем приблизительно 1,8.

9. Способ по п.1, в котором обогащенный водородом синтез-газ характеризуется молярным отношением водорода к монооксиду углерода ( $H_2/CO$ ) больше чем приблизительно 2,0; и где молярное отношение  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  выходящего потока реактора КЧО.

10. Способ по п.1, дополнительно включающий:

(i) введение, по меньшей мере, части обогащенного водородом синтез-газа в метанольный реактор с получением выходящего потока метанольного реактора; где выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду, водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды;

(ii) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора на поток сырого метанола и поток пара; где поток сырого метанола содержит метанол и воду; и где поток пара содержит водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды;

(iii) введение, по меньшей мере, части потока пара в первый узел извлечения водорода с получением потока водорода и потока остаточного газа, где поток водорода содержит, по меньшей мере, часть водорода потока пара, и где поток остаточного газа содержит монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды;

(iv) рециркуляцию, по меньшей мере, части потока водорода в метанольный реактор; и

(v) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола на поток метанола и поток воды.

11. Способ по п.10, в котором (1), по меньшей мере, часть потока остаточного газа продувают, используют в качестве топлива, подают в реактор КЧО на стадии (а) или их комбинации; и/или (2), по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов рециркулируют в крекинг-установку, используют в качестве топлива, подают в реактор КЧО на стадии (а) или их комбинации.

12. Способ производства синтез-газа и олефинов, включающий:

(а) подачу сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, бедного водородом потока и потока извлечения углеводородов; где сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где бедный водородом поток содержит водород и метан; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды; и

(б) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реакторе КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды, по меньшей мере, часть бедного водородом потока и/или, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где, по меньшей мере, часть углеводородов в смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением синтез-газа; где углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, и метан; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где синтез-газ содержит водород ( $H_2$ ), монооксид углерода (СО), диоксид углерода ( $CO_2$ ), воду и непрореагировавшие углеводороды; где синтез-газ характеризуется отношением М синтез-газа, где отношение М представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2 - CO_2)/(CO + CO_2)$ ; и где синтез-газ характеризуется молярным отношением водорода к монооксиду углерода ( $H_2/CO$ ) синтез-газа.

13. Способ по п.12, в котором смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды, по меньшей мере, часть бедного водородом потока и необязательно водяной пар и/или, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов.

14. Способ по п.12, в котором углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, метан и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды.

15. Способ по п.12, в котором бедный водородом поток содержит водород, метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды.

16. Способ по п.12, в котором (1) отношение М синтез-газа равно или больше чем приблизительно 1,8; и/или (2) молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа больше чем приблизительно 2,0.

17. Способ по п.12, в котором смесь реагентов КЧО содержит водород в количестве меньше чем приблизительно 2 0 мол. %.

18. Способ по п.12, в котором отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа больше, чем отношение М и/или молярное отношение  $H_2/CO$ , соответственно, синтез-газа, получаемого в аналогичном во всем остальном процессе, в котором в реактор КЧО подают смесь реагентов КЧО без бедного водородом потока.

19. Способ по п.12, дополнительно включающий:

(i) введение, по меньшей мере, части синтез-газа в метанольный реактор с получением выходящего потока метанольного реактора; где выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду, водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды;

(ii) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора на поток сырого

метанола и поток пара; где поток сырого метанола содержит метанол и воду; и где поток пара содержит водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды;

(iii) введение, по меньшей мере, части потока пара в первый узел извлечения водорода с получением потока водорода и потока остаточного газа, где поток водорода содержит, по меньшей мере, часть водорода потока пара, и где поток остаточного газа содержит монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды; (iv) рециркуляцию, по меньшей мере, части потока водорода в метанольный реактор;

(v) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола на поток метанола и поток воды; и

(vi) необязательно рециркуляцию, по меньшей мере, части потока остаточного газа в реактор КЧО.

20. Способ производства метанола и олефинов, включающий:

(a) подачу сырья крекинг-установки в крекинг-установку с получением потока продуктов крекинг-установки, богатого водородом потока и потока извлечения углеводородов; где сырье крекинг-установки содержит вторые углеводороды; где поток продуктов крекинг-установки содержит олефины; где богатый водородом поток, содержит водород и метан; и где поток извлечения углеводородов содержит  $C_{4+}$  углеводороды;

(b) введение, по меньшей мере, части богатого водородом потока во второй узел извлечения водорода с получением обогащенного водородом потока и обогащенного углеводородами потока; где обогащенный водородом поток содержит, по меньшей мере, часть водорода богатого водородом потока; и где обогащенный углеводородами поток содержит, по меньшей мере, часть углеводородов богатого водородом потока;

(c) подачу смеси реагентов каталитического частичного окисления (КЧО) в реакторе КЧО; где смесь реагентов КЧО содержит кислород и первые углеводороды; где первые углеводороды и вторые углеводороды являются одинаковыми или разными; где, по меньшей мере, часть углеводородов в смеси реагентов КЧО взаимодействует посредством реакции КЧО в реакторе КЧО с получением синтез-газа; где углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды; где реактор КЧО содержит катализатор КЧО; где синтез-газ содержит водород ( $H_2$ ), монооксид углерода (CO), диоксид углерода ( $CO_2$ ), воду и непрореагировавшие углеводороды; где синтез-газ характеризуется отношением М синтез-газа, где отношение М представляет собой молярное отношение, определяемое как  $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2)$ ; и где синтез-газ характеризуется молярным отношением водорода к монооксиду углерода ( $H_2/CO$ ) синтез-газа;

(d) введение в контакт, по меньшей мере, части синтез-газа, по меньшей мере, с частью обогащенного водородом потока с получением обогащенного водородом синтез-газа; где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется отношением М обогащенного водородом синтез-газа, где отношение М обогащенного водородом синтез-газа больше, чем отношение М синтез-газа; где обогащенный водородом синтез-газ характеризуется молярным отношением  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа, и где молярное отношение  $H_2/CO$  обогащенного водородом синтез-газа больше, чем молярное отношение  $H_2/CO$  синтез-газа;

(e) введение, по меньшей мере, части обогащенного водородом синтез-газа в метанольный реактор с получением выходящего потока метанольного реактора; где выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду, водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан и первые углеводороды;

(f) разделение, по меньшей мере, части выходящего потока метанольного реактора на поток сырого метанола и поток пара; где поток сырого метанола содержит метанол и воду; и где поток пара содержит водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан и первые углеводороды;

(g) введение, по меньшей мере, части потока пара в первый узел извлечения водорода с получением потока водорода и потока остаточного газа, где поток водорода содержит, по меньшей мере, часть водорода потока пара, и где поток остаточного газа содержит монооксид углерода, диоксид углерода, метан и первые углеводороды;

(h) рециркуляцию, по меньшей мере, части потока водорода в метанольный реактор; и

(j) разделение, по меньшей мере, части потока сырого метанола на поток метанола и поток воды.

21. Способ по п.20, в котором богатый водородом поток содержит водород, метан и необязательно непрореагировавшие вторые углеводороды.

22. Способ по п.20, в котором смесь реагентов КЧО содержит кислород, первые углеводороды, необязательно содержит, по меньшей мере, часть потока извлечения углеводородов и/или, по меньшей мере, часть обогащенного углеводородами потока и необязательно водяной пар.

23. Способ по п.20, в котором углеводороды в смеси реагентов КЧО содержат первые углеводороды, необязательно метан, необязательно вторые углеводороды и необязательно  $C_{4+}$  углеводороды.

24. Способ по п.20, в котором выходящий поток метанольного реактора содержит метанол, воду, водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды.

25. Способ по п.20, в котором поток пара содержит водород, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, первые углеводороды и необязательно вторые углеводороды и/или  $C_{4+}$  углеводороды.



