



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 115 617** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК⁶ **C 01 B 3/38**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 93050288/25, 23.06.1993

(30) Приоритет: 24.06.1992 EP 92201879.1

(46) Дата публикации: 20.07.1998

(56) Ссылки: EP, заявка, 0303438, кл. C 01 B 3/38, 1989.

(71) Заявитель:

Шелл Интернэшнл Рисерч Маатсхаппий Б.В.
(NL)

(72) Изобретатель: Курт Александер Вонкеман (NL),
Людвигус Леонардус Герардус Якобс (NL)

(73) Патентообладатель:

Шелл Интернэшнл Рисерч Маатсхаппий Б.В.
(NL)

(54) СПОСОБ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ЧАСТИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

(57) Реферат:

Данный способ предназначен для каталитического частичного окисления углеводородов. Способ каталитического частичного окисления углеводородного сырья заключается в контактировании сырья, содержащего углеводороды, кислородо-содержащий газ и необязательно пар при молярном соотношении кислорода и углерода от 0,45 до 0,75, при повышенном давлении с катализатором в реакционной зоне при адиабатических условиях. Катализатор содержит металл, выбранный из

группы VIII Периодической таблицы, нанесенный на носитель. Катализатор удерживается в пределах реакционной зоны в неподвижной структуре, которая имеет высокую степень извилистости. Неподвижная структура катализатора представляет собой предпочтительно неподвижный слой макрочастиц катализатора или керамическую пену. Изобретение позволяет повысить эффективность способа каталитического частичного окисления углеводородов. 9 з.п.ф-лы, 3 табл.

RU 2 1 1 5 6 1 7 C 1

RU 2 1 1 5 6 1 7 C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 115 617** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁶ **C 01 B 3/38**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 93050288/25, 23.06.1993

(30) Priority: 24.06.1992 EP 92201879.1

(46) Date of publication: 20.07.1998

(71) Applicant:
Shell Internehshnl Riserch Maatskhappij B.V. (NL)

(72) Inventor: Kurt Aleksander Vonkeman (NL),
Ljudovikus Leonardus Gerardus Jakobs (NL)

(73) Proprietor:
Shell Internehshnl Riserch Maatskhappij B.V. (NL)

(54) **METHOD OF CATALYTIC PARTIAL OXIDATION OF HYDROCARBON RAW MATERIAL**

(57) Abstract:

FIELD: petrochemical processes.
SUBSTANCE: method consists in bringing hydrocarbon-containing raw material in contact with oxygen-containing gas and optionally water vapor at oxygen to carbon molar ratio from 0.45 to 0.75 and elevated pressure and adiabatic conditions in a

reaction zone containing catalyst. The latter contains VIII group metal on carrier. Catalyst is maintained within reaction zone in a fixed structure with high degree of sinuosity. This structure is preferably a stationary bed with catalyst macroparticles or ceramic foam. EFFECT: enhanced process efficiency. 10 cl, 3 tbl

RU 2 1 1 5 6 1 7 C 1

RU 2 1 1 5 6 1 7 C 1

Изобретение относится к способу каталитического частичного окисления углеводородного сырья.

Частичное окисление углеводородов, например метана или природного газа, в присутствии катализатора является предпочтительным способом получения смесей моноокси углерода и водорода, причем смеси известны специалистам как синтезированный газ. Полученный таким образом синтезированный газ может быть преобразован в ценные продукты, например углеводородные жидкости, кипящие в среднем диапазоне дистилляции, приготовленные синтезом Фишера-Тропша, углеводородные парафины, минеральные масла или метанол.

Процесс оптимального каталитического частичного окисления мог бы обеспечивать высокий выход моноокси углерода и водорода при повышенных давлениях, например, выше 30 бар, и при очень высоких пространственных скоростях, например, порядка 100000 Нл/л/ч. Под обозначением "Нл" понимается нормальный литр. Размерность "Нл/л/ч" относится к количеству л/л/ч при стандартном давлении и температуре. Вследствие термодинамических причин для получения высокого выхода моноокси углерода и водорода необходимо производить процесс частичного окисления при высоких температурах. Однако было установлено, что очень трудно избежать чрезмерно высоких пиковых температур, особенно, при температуре свыше 1200°C, поскольку пиковые температуры нежелательны в промышленном реакторе. Соответственно, существует необходимость в процессе частичного окисления, имеющем высокую селективность при производстве моноокси углерода и водорода при условиях повышенной производительности, при котором устраняется возникновение высоких пиковых температур.

В настоящее время известно несколько способов и рабочих схем для каталитического частичного окисления. В статье авторов Дж.А.Лапсзевич и др., Симпозиум по природному газу, проведенный Отделением нефтехимии, инк., Американского химического общества. Собрание в Сан-Франциско, 5-10 апреля 1992 г., описаны эксперименты лабораторного масштаба, при которых обычный проточный реактор, загруженный катализатором с нераскрытым составом, работает в изотермическом режиме для каталитического частичного окисления метана с использованием воздуха. Было отмечено, что выходы моноокси углерода, превышают производительность, достигаемую при условиях термодинамического равновесия. Однако работа реактора промышленного масштаба при изотермических условиях представляет довольно сложные проблемы и желательно их избежать.

В публикации Р. Ф. Бланк и др., Химические промышленные исследования, т. 45, N 8, с. 2407-2413, 1990, раскрыт процесс приготовления синтезированного газа путем каталитического частичного окисления природного газа с воздухом. Для осуществления этого процесса используется двунаправленный адиабатический реактор с циклическим режимом работы, в котором газовые потоки периодически реверсируются

для поддержания высокой рабочей температуры. Однако этот циклический режим работы приводит к поддержанию реактора в нестабильном состоянии. Подобный процесс будет трудно осуществить, при его использовании в коммерческом масштабе.

Европейская патентная заявка N 0303438 раскрывает способ каталитического частичного окисления углеводородного сырья, включающий ввод в контакт сырья, содержащего углеводороды и кислородсодержащий газ, при молярном соотношении кислорода к углеводороду от 0,45 до 0,75 и повышенном давлении с катализатором в реакционной зоне, который содержит металл VIII группы Периодической таблицы, нанесенный на носитель, причем катализатор удерживают в реакционной зоне в неподвижной структуре.

Катализатор имеет отношение поверхностной площади к объему по меньшей мере 5 см²/см³. Зона каталитического частичного окисления изолирована от тепловых потерь при помощи нескольких слоев литьевого изоляционного материала. Исползованный в этом процессе катализатор содержит широкий набор каталитически активных компонентов, например палладий, платина, родий, иридий, осмий, рутений, никель, хром, кобальт, церий, лантан и их смеси. Кроме того, в известном способе материалы, обычно не рассматриваемые как каталитически активные, также могут быть использованы в качестве катализаторов, например, тугоплавкие окислы, такие как кордиерит, мюллит, мюллитовый титанат алюминия, циркониевые шпинели и окись алюминия. Катализатор может быть представлен в различных формах, например в виде листов гофрированного металла, упакованных таким образом, чтобы образовать продольные сквозные каналы, или в виде проволочной сетки. Однако в известном способе предпочтительно использование катализаторов в форме монолитов.

Известный из вышеуказанной заявки способ осуществляется в реакторе каталитического частичного окисления, в котором используется последовательность из девяти отдельно расположенных дисков катализатора, каждый из которых содержит сотовый монолит толщиной 0,25 м. В реакторе применяется сырье, содержащее природный газ (более 95% метана) и пар при различных отношениях пара к углероду, пространственной скорости газа 97000 ч⁻¹ и при температурах 870, 950 и 1040°C. Структура катализатора в виде сотового монолита необходима для создания реактора, имеющего достаточно низкое падение давления на катализаторе для получения очень высоких пространственных скоростей, требуемых для осуществления процесса. Однако подобный реактор дорог при конструировании и сложен в работе, а также он нежелателен для использования в промышленном масштабе.

Предпочтительным режимом процесса в реакторе мог бы быть такой, при котором подаваемые газы контактируют с макрочастицами катализатора, удерживаемыми в неподвижной структуре в реакторе. Подобный режим широко известен для использования в разнообразных

процессах. Однако до настоящего времени не представлялось возможным использовать подобный реактор в промышленном масштабе для квазистабильного каталитического частичного окисления углеводородов, поскольку объем требуемого катализатора в неподвижной структуре приводил к значительному падению давления, которое в свою очередь не позволяло получить очень высокие пространственные скорости газа, необходимые для работы.

В настоящее время стало возможным проводить каталитическое частичное окисление углеводородного сырья с использованием неподвижной структуры катализатора с высокой степенью извилистости, например, неподвижного слоя макрочастиц катализатора, керамической пены или неравномерно уложенных тонких металлических сеток при очень высоких пространственных требуемых скоростях при соблюдении заданного набора параметров процесса. Более того, было установлено, что работа при упомянутом выше наборе параметров способа позволяет получить как моноокись углерода, так и водород при очень высоких производительностях без возникновения высоких пиковых температур.

Техническим результатом изобретения является повышение эффективности способа каталитического частичного окисления углеводородного сырья.

Этот технический результат достигается тем, что в способе каталитического частичного окисления углеводородного сырья, включающий ввод в контакт сырья, содержащего углеводороды и кислородсодержащий газ, при молярном соотношении кислорода к углероду от 0,45 до 0,75 и повышенном давлении с катализатором в реакционной зоне, который содержит металл VIII группы Периодической таблицы, нанесенный на носитель, причем катализатор удерживают в реакционной зоне в неподвижной структуре согласно изобретению, тем, что неподвижная структура имеет степень извилистости 1,1-10, а контакт сырья осуществляют в адиабатических условиях.

Способ в соответствии с настоящим изобретением может быть использован для приготовления смеси монооксида углерода и водорода из любого газообразного или углеводородного сырья, имеющего низкую точку кипения. Способ в особенности пригоден для частичного окисления метана, природного газа, ассоциированного газа или других источников легких углеводородов.

Углеводородное сырье реагирует с кислородсодержащим газом. Для использования в качестве кислородсодержащего газа подходит воздух. Предпочтительно использование чистого кислорода в качестве кислородсодержащего газа. Таким путем устраняется необходимость управления большими объемами инертного газа, например азота, при использовании воздуха в качестве кислородсодержащего газа. Сырье может содержать пар.

Подаваемое сырье содержит углеводородную шихту и кислородсодержащий газ в количестве, необходимом для получения молярного отношения кислорода к углероду в диапазоне

от 0,45 до 0,75. Предпочтительно молярное отношение кислорода к углероду находится в диапазоне от 0,45 до 0,65, причем особенно предпочтительным является отношение 0,5. Если в сырье присутствует пар, отношение пара к углероду предпочтительно составляет значения в диапазоне от 0,0 до 3,0, а более предпочтительно от 0,3 до 2,0.

Сырье контактирует с катализатором при адиабатических условиях. В настоящем описании термин "адиабатический" относится к условиям реакции, при которых в основном предотвращаются все тепловые потери и излучение от сырья за исключением тепла, выводимого в газообразном вытекающем потоке реактора.

Было установлено, что адиабатическая работа реактора необходима для того, чтобы избежать возникновения слишком высоких пиковых температур в слое катализатора. Было также установлено, что, если тепло, в частности, в форме излучения или конвекции через стенку реактора, может покидать слой катализатора, рабочая температура слоя катализатора будет подниматься, а селективность процесса для водорода и монооксида углерода падать. Наоборот, было обнаружено, что если реактор работает адиабатически, как это определено выше, рабочая температура слоя катализатора будет ниже и селективность реакции для монооксида углерода и водорода повышается.

Частичное окисление подаваемой углеводородной шихты эффективно в присутствии катализатора, который содержит в качестве каталитически активной компоненты металл группы VIII Периодической таблицы элементов. Предпочтительные катализаторы, используемые в способе, содержат один или несколько металлов, выбранных из таких металлов, как рутений, родий, палладий, осмий, иридий и платина, при этом особенно предпочтительными являются катализаторы, содержащие один или несколько металлов, выбранных из таких металлов, как иридий, платина, родий и рутений. Катализатор, содержащий родий, является наиболее подходящим катализатором для использования в способе согласно настоящему изобретению.

Катализатор содержит каталитически активный компонент, нанесенный на носитель и удерживаемый в реакционной зоне реактора в неподвижной структуре, имеющей высокую степень извилистости. Структуры катализатора, например, сотовые монолиты из предшествующего уровня техники, являются структурами, имеющими малую степень извилистости, и не подходят для использования в способе согласно настоящему изобретению. Термин "высокая степень извилистости", как он используется в настоящем описании, относится к материалам или структурам, степень извилистости которых значительно выше, чем степень извилистости упомянутых выше монолитных структур. Примерами структур, имеющих высокую степень извилистости, являются неподвижные слои катализатора в виде макрочастиц, металлические тонкие сетки и керамические пены. Отштампованные выдавливанием монолитные материалы могут быть использованы в способе согласно изобретению, если они размещены для

формирования структуры, имеющей высокую извилистость. В такой структуре частиц или слои монолита размещены так, чтобы прерывать продольные каналы, присутствующие в материале, когда он был сформирован, тем самым значительно повышая извилистость структуры. Неподвижный слой макрочастиц катализатора является одной из приемлемых структур для использования в способе согласно изобретению. Неподвижный слой, содержащий каталитически активный металл, размещенный на носителе из керамической пены, является альтернативным вариантом и наиболее подходящей формой для использования в способе согласно изобретению.

Термин "извилистость" является общим термином в известной области техники, который применительно к неподвижному слою катализатора может быть определен как отношение длины траектории, проходимой газом, протекающим через слой, к длине самой короткой траектории в виде прямой линии через этот слой. Таким образом, сотовые монолитные структуры известного уровня техники имеют извилистость 1,0. Неподвижная структура способа в соответствии с изобретением должна иметь высокую степень извилистости, т.е. степень извилистости по меньшей мере 1,1. Неподвижный слой макрочастиц обычно имеет извилистость около 1,5, тогда как подложки из грубопористой керамической пены могут быть приготовлены с параметром извилистости порядка от 3,0 до 4,0 или даже выше. В общем случае степень извилистости неподвижной структуры настоящего способа составляет значения от 1,1 до примерно 10,0, а более предпочтительно до 5,0. Наиболее приемлемый диапазон степени извилистости составляет от 1,3 до 4,0.

Катализатор содержит носитель. В качестве носителя могут быть использованы металл металлической тонкой сетки или керамический материал керамических пен для каталитически активных компонентов катализатора. Подходящие материалы носителя для использования при приготовлении катализатора в виде макрочастиц широко известны в данной области техники и они включают тугоплавкие окислы, такие, как окись кремния, окись алюминия, окиси титана, циркония и их смеси. Наиболее предпочтительным материалом носителя для катализатора в виде макрочастиц является окись алюминия, в особенности, альфа-окись алюминия. Каталитически активный компонент может быть помещен на носителе способами, известными в данной области техники. Наиболее приемлемым способом для расположения каталитически активного компонента на материале носителя катализатора в виде макрочастиц является импрегнирование. Керамические пены в качестве подложки для каталитически активного металла, могут быть приготовлены из упомянутых выше тугоплавких окислов, в типовом случае из окиси алюминия, и они являются коммерчески доступными. Приемлемыми керамическими пенами являются, например, те, которые имеют от 12 до 60 пор на сантиметр. Импрегнирование является наиболее приемлемым способом

для расположения каталитически активного металла на носителе из керамической пены.

Комбинация вышеописанных особенностей способа позволяет использовать неподвижный слой катализатора малого объема, что, в свою очередь, обеспечивает высокие пространственные скорости, требуемые для использования в промышленном каталитическом процессе частичного окисления. Обычные пространственные скорости газов составляют от 20000 до 50000000 Нл/л/ч, более предпочтительно в диапазоне от 50000 до 10000000 Нл/л/ч. Пространственные скорости порядка 1000000 Нл/л/ч являются типичными для способа в соответствии с изобретением.

В типовом случае в данном способе могут использоваться рабочие давления до 100 бар, а более предпочтительно в диапазоне от 2 до 75 бар.

Подаваемое сырье контактирует с катализатором при повышенных температурах. Рабочие температуры для частичного окисления находятся в диапазоне от 750 до 1200°C при температурах в диапазоне от 1000 до 1200°C. Полезно, чтобы сырье предварительно нагревалось перед контактированием с катализатором. Еще одним преимуществом способа согласно изобретению является то, что допуская очень высокие пространственные скорости газов, упомянутые выше, нет необходимости ограничивать предварительный нагрев сырья для обеспечения неперевышения температуры автозажигания подаваемой смеси перед контактированием сырья с катализатором. Достаточно допустить смешивание компонентов сырья перед контактированием с катализатором, в то же время обеспечивая контактирование сырья при полном перемешивании с катализатором до истечения времени задержки автозажигания.

Способ в соответствии с настоящим изобретением описывается ниже при помощи иллюстративных примеров его осуществления, где примеры 1, 2, 4 и 6 являются примерами способа, а примеры 3, 5, 7, 8 являются сравнительными примерами.

Пример 1. Приготовление катализатора
Катализатор из платины/альфа-окиси алюминия был приготовлен путем импрегнирования коммерчески доступного носителя из макрочастиц альфа-окиси алюминия с водным раствором хлороплатиновой кислоты (H_2PtCl_6) при последующем высушивании и обжиге импрегнированного материала. Катализатор содержал 0,5 мас.% платины.

Каталитическое частичное окисление
Реактор был выполнен с прозрачной сапфировой трубкой, установленной концентрически во внешней прозрачной полиуглеродной трубке. Вокруг внутренней сапфировой трубки размещена платиновая фольга, непроницаемая для излучения. Катализатор был загружен во внутреннюю сапфировую трубку. Катализатор размещен в виде неподвижного слоя макрочастиц катализатора, имеющего степень извилистости 1,5. Метан и кислород в достаточных количествах для получения отношения кислорода к углероду 0,5 были поданы в реактор и тщательно перемешаны непосредственно перед введением в реактор

при давлении 2 бара и пространственной скорости газа, равной 900000 Нл/л.ч. Подаваемое сырье оставалось в слое катализатора в течение 8 мес.

Состав газовой смеси, покидающей реактор, был определен при помощи газовой хроматографии. Рабочая температура реактора определялась при помощи оптической пирометрии. Рабочие условия реактора и результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Пример 2.

Эксперимент примера 1 был повторен с использованием того же общего метода. Рабочие условия реактора и результаты представлены в табл. 1.

Пример 3 (сравнительный).

Для сравнения был повторен эксперимент примера 1, но без использования платиновой фольги. Рабочие условия и результаты этого сравнительного эксперимента приведены в табл. 1.

Пример 4. Приготовление катализатора

Катализатор из родия/альфа-окиси алюминия был приготовлен путем импрегнирования коммерчески доступного носителя из частиц альфа-окиси алюминия водным раствором хлорида родия $[RhCl_3]$ с последующим высушиванием и обжигом импрегнированного материала. Изготовленный катализатор содержал 5,0 мас.% родия.

Каталитическое частичное окисление

Содержащий родий катализатор был выполнен в виде неподвижного слоя макрочастиц, имеющего степень извилистости 1,5 и использование в каталитическом частичном окислении метана с применением способа, описанного в примере 1. Рабочие условия реактора и полученные результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Пример 5 (сравнительный).

Для сравнения был повторен эксперимент примера 4, но без использования платиновой фольги. Рабочие условия и результаты этого сравнительного эксперимента приведены в табл. 2.

Пример 6.

Алюмоплатиновый (платина/альфа-оксид алюминия) получают с использованием способа, описанного в примере 1. Готовый катализатор содержит 5,0 мас.% платины. Эксплуатационное качество катализатора при каталитическом частичном окислении метана проверяют, следуя общему методу, описанному в примере 1, но без использования платиновой фольги. Рабочие условия и результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Пример 7.

Муллитовый экструдированный пористый монолит (экст. NGK, 2 x 2 пор, 1 x 1 мм) пропитывают платиной по общему способу, описанному в примере 1, и получают конечную платиновую нагрузку в 5,0 мас.%.

Проверяют эксплуатационное качество катализатора - платина/муллитовый сотопласт - при каталитическом частичном окислении метана по общему экспериментальному способу, описанному в примере 1, но без использования платиновой фольги. Рабочие условия и результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Пример 8 (сравнительный).

Катализатор получают с использованием

способа, описанного в примере 7, и проверяют его эксплуатационное качество при каталитическом частичном окислении метана, следуя общему методу, приведенному в примере 1, без использования платиновой фольги. Рабочие условия и результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Из данных, представленных в табл. 1, можно видеть, что при использовании содержащего платину катализатора работа реактора при адиабатических условиях, т.е. с установленной платиновой фольгой, приводит к значительно меньшей рабочей температуре для слоя катализатора. Далее можно видеть, что эффективность полного преобразования метана и селективность процесса как для моноокси углерода, так и для водорода значительно возросли.

Из данных, представленных в табл. 2, можно видеть, что аналогичные параметры в отношении преобразования метана и селективности процесса как для водорода, так и для моноокси углерода имеют место при использовании катализатора, содержащего родий. Родиевый катализатор проявляет большую собственную активность в реакциях каталитического частичного окисления, чем платиновый катализатор, приводящую к полной конверсии и селективности, более близкой к тому значению, которое достигается при термодинамическом равновесии. Однако достаточное увеличение эффективности конверсии и селективности процесса все еще наблюдалось при использовании катализатора, содержащего родий, при адиабатических условиях.

Формула изобретения:

1. Способ каталитического частичного окисления углеводородного сырья, включающий ввод в контакт сырья, содержащего углеводороды и кислородсодержащий газ, при молярном отношении кислорода к углероду 0,45 - 0,75 и повышенном давлении с катализатором в реакционной зоне, который содержит металл VIII группы Периодической таблицы, нанесенный на носитель, причем катализатор удерживают в реакционной зоне в неподвижной структуре, отличающийся тем, что неподвижная структура имеет степень извилистости 1,1 - 10,0, а контакт сырья осуществляют в адиабатических условиях.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что углеводородное сырье содержит метан, природный газ, ассоциированный газ или источник легких углеводородов.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что кислородсодержащий газ представляет чистый кислород.

4. Способ по пп.1 - 3, отличающийся тем, что сырье содержит углеводороды и кислородсодержащий газ при молярном соотношении кислорода к углероду 0,45 - 0,65, предпочтительно около 0,5.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что сырье содержит пар предпочтительно при соотношении пара к углероду до 3,0, более предпочтительно 0,3 - 2,0.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что катализатор содержит металл, выбранный из группы, состоящей из рутения, родия, палладия, осмия, иридия и платины, предпочтительно выбранный из группы,

состоящей из платины, палладия, родия и рутения.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что неподвижная структура катализатора выполнена в виде неподвижного слоя макрочастиц катализатора, или тонкой металлической сетки, или керамической пены, предпочтительно в виде неподвижного слоя макрочастиц катализатора или керамической пены.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что

неподвижная структура имеет степень извилистости предпочтительно 1,3 - 4,0.

9. Способ по любому из пп.1 - 8, отличающийся тем, что пространственная скорость сырья находится в пределах 20000 - 50000000 $N л/(л \cdot ч^{-1})$, предпочтительно 50000 - 10000000 $N л/(л \cdot ч^{-1})$.

10. Способ по любому из пп.1 - 9, отличающийся тем, что сырье подается под давлением до 100 бар, предпочтительно 2 - 75 бар.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

-7-

Таблица 1

Параметр	Пример 1	Пример 2	Пример 3 (сравнительный)
Рабочие условия			
Температура (°С)	850	860	1150
Давление (бар)	2	3	2
Пространственная скорость газа (Нл/л/ч)	900000	900000	900000
Отношение кислород/углерод	0,5	0,5	0,5
Состав выводимого газа реактора			
CH ₄ (%)	22	20	31
CO (%)	34	34	28
CO ₂ (%)	5	6	7
H ₂ (%)	31	35	15
H ₂ O (%)	8	6	20
Преобразование CH ₄ (%)	64	67	53
Преобразование O ₂ (%)	100	100	100
Селективность CO (%)	87	85	80
Селективность H ₂ (%)	79	86	43

1 - селективность для CO, основанная на конверсии CH₄.

2 - селективность для H₂, основанная на конверсии CH₄.

Таблица 2

Параметр	Пример 4	Пример 5 (сравнительный)
Рабочие условия		
Температура (°С)	#	950
Давление (бар)	1,75	1,75
Пространственная скорость газа (Нл/л/ч)	1000000	900000
Отношение кислород/углерод	0,61	0,61
CH ₄ преобразование (%)	98,3	97,2
O ₂ преобразование (%)	100	100
CO селективность (%)	94,0	93,5
H ₂ селективность (%)	93,4	93,3

1 - селективность для CO, основанная на конверсии CH₄.

2 - селективность для H₂, основанная на конверсии CH₄.

- температура, определенная путем проверки, значительно ниже 950°С.

Таблица 3

Носитель катализатора	Пример 6	Пример 7	Пример 8
	Частицы оксида алюминия	Экструдированный сотопласт	Экструдированный сотопласт
Давление (бар)	3,4	3,4	3,4
Температура (°С)	1024	1160	1160
Отношение кислород/углерод	0,52	0,52	0,52
Скорость потока газа, Нл/л/ч	80	80	80
Извилистость катализатора	1,5	1,0	1,0
Конверсия CH ₄ (об. %)	77,0	40,0	44,0
Селективность по CO (об. %)	87,0	74,0	70,0
Селективность по H ₂ (об. %)	87,0	15,0	20,0