

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039256**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.12.23

(21) Номер заявки
201990648

(22) Дата подачи заявки
2017.09.05

(51) Int. Cl. **C01B 3/38** (2006.01)
B01J 19/32 (2006.01)
B01J 8/02 (2006.01)

**(54) ТРУБКА ДЛЯ РИФОРМИНГА СО СТРУКТУРИРОВАННЫМ КАТАЛИЗАТОРОМ И
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМ ТЕПЛОВЫМ БАЛАНСОМ**

(31) 16400041.6

(32) 2016.09.14

(33) EP

(43) 2019.07.31

(86) PCT/EP2017/025252

(87) WO 2018/050291 2018.03.22

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**Л'ЭР ЛИКИД СОСЬЕТЕ
АНОНИМ ПУР Л'ЭТЮД Э
Л'ЭКСПЛУАТАСЬОН ДЕ ПРОСЕДЕ
ЖОРЖ КЛОД (FR)**

(56) EP-A1-0025308
WO-A1-2015132555
WO-A1-0112310
EP-A1-1944269
US-A1-2012195801

(72) Изобретатель:
**Ульбер Дитер (DE), Гари Даниэль,
Прост Лоран (FR), Таддельо Жан-
Филип (DE), Базен Мари (FR)**

(74) Представитель:
**Веселицкий М.Б., Веселицкая И.А.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Кузнецова Т.В., Соколов Р.А. (RU)**

(57) Предложена трубка для риформинга для получения синтез-газа паровым риформингом содержащего углеводороды газообразного сырья, в котором используется структурированный преобразующий поток катализатор. Согласно данному изобретению внутри структурированного катализатора размещена теплообменная трубка, где питающий газовый поток сначала течет через структурированный катализатор, а затем течет противотоком через теплообменную трубку. Это улучшает теплообмен между продуктовым потоком синтез-газа и структурированным катализатором и питающим газовым потоком, текущим сквозь него, особенно в радиальном направлении.

039256 B1

039256 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к трубке для риформинга для конверсии содержащего углеводороды сырья, предпочтительно природного газа и легких жидких углеводородов, таких как нефтя, в продуктовый синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород. Трубка для риформинга по данному изобретению позволяет осуществлять внутренний теплообмен между питающим газом и продуктовым газом, который был частично преобразован в продукты синтез-газа, что создает преимущества с точки зрения потребления энергии при производстве синтез-газа и ценных продуктов - водорода и монооксида углерода. Кроме того, падение давления уменьшается за счет использования структурированного катализатора риформинга.

Изобретение дополнительно относится к способу получения синтез-газа путем парового риформинга содержащего углеводороды сырья с использованием трубки для риформинга по данному изобретению, а также к печи риформинга, оборудованной трубкой для риформинга.

Уровень техники

Углеводороды можно подвергать каталитической реакции с паром с получением синтез-газа, т.е. смесей водорода (H_2) и монооксида углерода (CO). Как указывается в Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, 1998 Electronic Release, поисковое слово "Gas Production", такой паровой риформинг является наиболее широко используемым методом получения синтез-газа, который затем можно преобразовывать в следующие важные основные химические вещества, такие как метанол или аммиак. Хотя в реакции и можно использовать различные углеводороды, такие как нефтя, сжиженный нефтяной газ или нефтезаводские газы, использование парового риформинга природного газа, содержащего метан, является преобладающим.

Паровой риформинг природного газа проходит с высоким эндотермическим эффектом. Поэтому его проводят в печи риформинга, в которой параллельно друг другу размещено большое число трубок для риформинга, содержащих катализатор, в которых происходит реакция парового риформинга. Внешние стенки печи риформинга, а также ее верх и низ выложены или облицованы несколькими слоями огнеупорного материала, который выдерживает температуры вплоть до $1200^\circ C$. Трубки для риформинга обычно обогреваются с помощью горелок, которые установлены на верхней стороне или на нижней стороне, или на стенках печи риформинга и непосредственно обогревают промежуточное пространство между трубками для риформинга. В такой конфигурации перенос тепла к трубкам риформинга происходит путем теплового излучения и конвективной теплопередачи от горячих топочных газов.

После предварительного подогрева с помощью теплообменников или огневого подогревателей до примерно $500^\circ C$, смесь углеводород/пар окончательно нагревают до примерно $500-800^\circ C$, и она затем поступает в трубки для риформинга, где на катализаторе риформинга она преобразуется в монооксид углерода и водород. Катализаторы риформинга, основанные на никеле, широко распространены. В то время как высшие углеводороды полностью преобразуются в монооксид углерода и водород, в случае метана происходит только частичная конверсия. Состав продуктового газа в данном случае определяется равновесием реакции; поэтому продуктовый газ также содержит диоксид углерода, непрореагировавший метан и водяной пар помимо монооксида углерода и водорода. С целью оптимизации использования энергии или в случае сырья, содержащего высшие углеводороды, после предварительного подогревателя для обеспечения предварительной диссоциации сырья можно использовать установку предварительного риформинга. Затем сырье, прошедшее предварительную диссоциацию, нагревают с следующим подогревателем до требуемой на входе в трубку для риформинга температуры.

Горячий продуктовый синтез-газ после выхода из печи риформинга частично охлаждают в одном или нескольких теплообменниках. Частично охлажденный продуктовый синтез-газ затем проходит через дополнительные стадии кондиционирования, которые определяются характером требуемого продукта или процессом ниже по потоку.

Паровой риформинг природного газа отличается высоким потреблением энергии. Поэтому в предшествующем уровне техники уже предпринимались попытки минимизировать потребление подводимой извне энергии путем оптимизированной организации процесса, например, путем рекуперации энергии. Thus, НСТ-трубка для риформинга с внутренним теплообменом была представлена Higman на конференции Eurogas-90 в Трондхейме в июне 1990 г., а также в публикации <http://www.higman.de/gasification/papers/eurogas.pdf> (найден в Интернете 27 сентября 2011 г.). Устройство НСТ-трубки для риформинга заключается во внешней трубке для риформинга, которая заполнена катализатором и обогревается снаружи и в которой питающий газ течет сверху вниз через слой катализатора. Внутри слоя катализатора находятся две спиральные теплообменные трубки с конфигурацией в виде двойной спирали, которые изготовлены из подходящего материала и через которые течет газ, подвергнутый частичному риформингу и выходящий из слоя катализатора, за счет этого, проходя над катализатором, он отдает часть содержащегося в нем тепла в процесс парового риформинга. Однако недостатками в данном случае является более значительное падение давления вследствие более длинного расстояния, которое газ проходит через спиральные теплообменные трубки. Трубка для риформинга, впоследствии разработанная на этой основе и имеющая внутренний теплообмен, также описывается в международной патентной заявке WO 2013/068416 A1.

В последующей разработке технологии парового риформинга существует цель не только оптимизировать тепловой баланс трубки для риформинга, но и дополнительная цель минимизировать падение давления, в результате чего, благодаря уменьшению работы, требуемой для компрессии, получают дополнительную экономию.

Эти два аспекта взаимосвязаны, поскольку конструкторские решения, направленные на усовершенствование теплового баланса в трубке для риформинга, часто нежелательным образом увеличивают перепад давления в трубке для риформинга. По этой причине, если требуется поддерживать постоянным суммарный перепад давления в трубке для риформинга или даже снижать его, то уменьшение падения давления над находящимся там катализатором риформинга представляет собой важный переменный параметр воздействия на процесс.

Одним возможным путем снижения падения давления над катализатором риформинга является использование структурированной насадки, которая содержит катализатор риформинга, таким образом формируя структурированные катализаторы. Специалист в данной области под структурированной насадкой понимает, в отличие от неструктурированной насадки или слоев частиц, специально сконструированные внутренние элементы в емкости, которые используются, например, в абсорбционных колоннах, ректификационных колоннах и реакторах со стационарным слоем. Структурированная насадка часто состоит из тонких волнистых и перфорированных металлических пластин или проволочных сеток. Кроме того, можно получать керамические носители, которые в таком случае называется сотовой насадкой или сотами. Конструкция структурированных насадок должна максимизировать их удельную площадь поверхности и таким образом обеспечивать оптимальный обмен между разными фазами при минимальном сопротивлении потоку или падению давления. В случае гетерогенной каталитической реакции, такой как паровой риформинг, этим путем достигают максимальной площади границы раздела фаз между структурированным катализатором и газовой фазой. Соответственно, структурированный катализатор называют структурированной насадкой, если она содержит катализатор, который был нанесен, например, в виде покрытия на поверхность структурированной насадки, или который введен в конструкционные элементы структурированной насадки в виде малых частиц.

Применение структурированных катализаторов в паровом риформинге углеводородов известно как таковое и описано, например, в опубликованных патентах EP 1857174 A1 и EP 1944269 A1.

В заявке на патент США US 2012/0195801 A1 описано создание структурированного катализатора в связи с паровым риформингом. В этом документе описаны составные модули или сегменты насадки, расположенные вокруг центрального направляющего стержня. Сегменты насадки имеют форму веера или зигзагообразную форму и поддерживаются с нижней стороны кольцевым опорным элементом. Сегменты насадки выполнены из металлической фольги и покрыты слоем каталитически активного металла, например, никеля, обладающего необходимой для парового риформинга активностью. Благодаря форме веера образуются проточные каналы, которые идут в радиальном направлении, тем самым увеличивая время удерживания питающего газа в структурированной насадке. Реакторная трубка заполнена сегментами насадки путем укладки отдельных сегментов насадки сверху друг на друга.

В международном патентной заявке WO 2015/132555 A1 раскрыто применение структурированных катализаторов в дополнение к традиционным слоям катализаторов риформинга из частиц или гранул в разных секциях трубки для риформинга. В этой заявке для случая вертикальной трубки для риформинга, сквозь которую питающий газ течет сверху вниз, раскрыто размещение катализатора риформинга, используемого в виде слоя вблизи выпускного конца трубки для риформинга, и размещение структурированного катализатора риформинга вблизи впускного конца трубки для риформинга. Таким образом можно избежать размещения сложных опорных конструкций, необходимых для случая применения структурированных катализаторов, вблизи выхода из реактора.

Недостатком применения структурированного катализатора в паровом риформинге углеводородов является теплоперенос, который в некоторых случаях хуже, чем в слое частиц или гранул катализатора. Так, в европейской патентной заявке EP 1857174 A1 раскрывается, что в зависимости от геометрии структурированной насадки теплоперенос, в частности, между внутренней стенкой трубки для риформинга и ее центром, т.е. радиальный теплоперенос, может быть хуже, чем в случае трубного реактора, заполненного слоем катализатора. Хотя радиальный теплоперенос можно улучшить с помощью конструкции насадочных сегментов, как описано в US 2012/0195801 A1, реактор с усовершенствованным радиальным теплопереносом будет востребован вследствие крайне эндотермического характера парового риформинга углеводородов.

Сущность изобретения

Соответственно целью настоящего изобретения является предложить трубку для риформинга, свойства которой создают преимущества в отношении падения давления в сочетании с интенсивностью контакта между поверхностью катализатора и питающими газами, и в которой одновременно улучшен внутренний теплообмен, в частности в радиальном направлении, по сравнению с трубками для риформинга, известными из предшествующего уровня техники.

Эта цель достигается трубкой для риформинга, имеющей признаки, указанные в п.1 формулы изобретения. Последующие варианты осуществления изобретения приведены на основании соответствующих

ших зависимых пунктов формулы.

Согласно п.1 формулы изобретения предлагается трубка для риформинга для конверсии содержащего углеводороды сырья, предпочтительно природного газа, в продуктовый синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород, в условиях парового риформинга, содержащая:

(a) реакционную камеру, содержащую внешнюю трубу кожуха, выполненную для работы под давлением и обогрева снаружи, где труба кожуха отделена на одном своем конце от прилегающей отводной камеры с помощью разделительной пластины и закрыта на другом своем конце с помощью запорного приспособления;

(b) по меньшей мере одну структурированную насадку, которая размещена в реакционной камере и содержит катализатор, активный в отношении процесса парового риформинга;

(c) вход для питающего газового потока, содержащего сырье, расположенный на реакционной камере, находящийся на конце реакционной камеры, наиболее близко расположенном к разделительной пластине, и сообщающийся по потоку (текучей/жидкой среде) со входом для газа в структурированную насадку;

(d) теплообменную трубку, которая размещена внутри реакционной камеры и внутри структурированной насадки и чей впускной конец сообщается по потоку с выходом для газа из структурированной насадки, и чей выпускной конец сообщается по потоку с отводной камерой, так что обеспечивается возможность протекания питающего газового потока после входа в реакционную камеру сначала через структурированную насадку, а затем противотоком через теплообменную трубку, и обмена теплом продуктового потока синтез-газа, текущего по ней, со структурированной насадкой и питающим газовым потоком, текущим через нее;

(e) канал-сборник для продуктового синтез-газа, который сообщается по потоку с отводной камерой, где

(f) выпускной конец теплообменной трубки, проходящий через разделительную пластину, открывающийся в отводную камеру и сообщающийся по потоку с каналом-сборником так, чтобы продуктовый синтез-газ мог проходить от реакционной камеры через отводную камеру в канал-сборник, причем

(g) трубка кожуха и теплообменная трубка имеют круглое поперечное сечение, а структурированная насадка имеет кольцевое поперечное сечение, и

(h) трубка кожуха, структурированная насадка и теплообменная трубка расположены соосно и концентрически, при этом

(i) структурированная насадка расположена между внутренней стенкой трубки кожуха и внешней стенкой теплообменной трубки таким образом, чтобы минимизировать потоки вдоль указанных стенок в обход структурированной насадки.

В изобретении также предложена печь риформинга, оборудованная по меньшей мере одной трубкой для риформинга согласно данному изобретению, предпочтительно множеством трубок для риформинга согласно данному изобретению, а также способ получения синтез-газа путем каталитического парового риформинга содержащего углеводороды сырья в трубке для риформинга согласно данному изобретению.

В целях данного изобретения сообщение по жидкой среде между двумя отделами трубки для риформинга означает любой тип связи, который позволяет текучей среде, например питающему газовому потоку или потоку продуктового синтез-газа, течь от одного отдела к другому вне зависимости от отдела или компонентов, расположенных между ними.

Обмен теплом означает теплообмен или теплоперенос между двумя отделами трубки для риформинга, любым механизмом теплообмена или теплопереноса, например путем теплопроводности, теплового излучения или конвективной теплопередачи.

Для целей настоящего изобретения условия парового риформинга представляют собой условия процесса, в частности, температуру, давление и время удерживания, которые как таковые известны специалисту в данной области, упоминались выше в качестве примера и подробно описаны в соответствующей литературе, и при которых происходит по крайней мере частичная конверсия, но предпочтительно конверсия на промышленном уровне, исходных материалов в продукты синтез-газа, такие как CO и водород. Соответственно, катализатор, активность которого подходит для процесса парового риформинга, представляет собой катализатор, позволяющий осуществлять такие преобразования в условиях парового риформинга.

Термины "структурированная насадка" и "структурированный катализатор" хорошо известны специалисту в данной области и используются в литературе. В этом отношении в качестве примера можно сослаться на статью авторов M. Grünewald и U. Kunz, "Strukturierte Katalysatoren als Bausteine multifunktionaler Reaktoren", Chemie Ingenieur Technik 2007, 79, No. 9.

Изобретение основано на понимании того, что недостаток теплопереноса при использовании структурированного катализатора в паровом риформинге углеводородов по сравнению со слоем катализатора можно компенсировать за счет использования теплообменной трубки во внутреннем пространстве структурированного катализатора, через которую получаемый продуктовый синтез-газ течет к отводной камере и за счет этого отдает часть содержащегося в нем тепла при движении противотоком к структуриро-

ванному катализатору и питающему газовому потоку, протекающему сквозь него, и таким образом, в процесс парового риформинга, происходящего над катализатором. Это, в частности, улучшает радиальный перенос тепла в трубке для риформинга. Особенным преимуществом является то, что теплообменная трубка одновременно выполняет поддерживающую и опорную функции для структурированного катализатора или для отдельных сегментов насадки.

Предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения

В предпочтительном варианте осуществления трубка для риформинга размещена вертикально, причем реакционная камера расположена в верхнем отделе, а отводная камера расположена в нижнем отделе, а питающий газовый поток течет снизу вверх через структурированную насадку. Преимуществом этого является то, что и вход питающего газового потока, и канал-сборник расположены с нижней стороны установки под печью риформинга, и, таким образом, доступ к ним для установки и инспекционных мероприятий прост. Кроме того, высота конструкции установки уменьшена по сравнению с компоновкой, которая описана, например в WO 2015/132555 A1, где вход газа и выход газа или канал-сборник находятся по разные стороны установки риформинга. Течение питающего газового потока через трубку для риформинга снизу несет в себе преимущество в сочетании с тем, что катализатор находится в структурированной форме, поскольку в случае, когда катализатор имеет форму неподвижного слоя частиц, существует опасность нежелательного ожигения при таком направлении течения. В этом случае частицы катализатора могут уноситься газовым потоком и разбиваться при падении назад. Это приводит к потере катализатора, а также к нежелательному усилению падения давления по длине трубки для риформинга вследствие образования кусочков и мелких частиц.

В трубке для риформинга данного изобретения предпочтительно, чтобы и структурированная насадка, и теплообменная трубка состояли из отдельных модулей или сегментов, и чтобы каждый сегмент теплообменной трубки был оборудован поддерживающим или опорным приспособлением для соответствующего сегмента насадки. Индивидуальные сегменты насадки и сегменты теплообменной трубки в этом случае легче изготавливать перед установкой в трубке для риформинга. Различной высоты насадки можно добиться простым использованием разного числа слоев сегментов насадки, поддерживаемых соответствующими сегментами теплообменной трубки, установленными друг над другом. Возможными поддерживающими или опорными приспособлениями в зависимости от веса сегментов насадки являются перфорированные пластины или проволочные сетки, которые, например, необязательно дополнительно могут прижиматься упорами, выходящими радиально из сегмента теплообменной трубки. Если поддерживающие или опорные приспособления и упоры изготовлены из металла или иного материала, имеющего хорошую теплопроводность, то это дополнительно способствует радиальному теплопереносу в трубке для риформинга.

В определенном варианте осуществления трубки для риформинга согласно данному изобретению реакционная камера включает в себя по меньшей мере один отдел, который содержит неподвижный слой частиц - твердый катализатор, активность которого подходит для процесса парового риформинга. Такие катализаторы риформинга, содержащие, например, никель и/или благородный металл, поступают в продажу. Применение неподвижного слоя катализатора в подобласти реакционной камеры трубки для риформинга сокращает затраты, поскольку производство катализаторов риформинга в виде частиц или гранул дешевле, чем производство структурированных катализаторов. Если такой отдел, содержащий неподвижный слой катализатора, установлен выше по потоку от структурированного катализатора, то это создает дополнительные преимущества, поскольку этот отдел одновременно выполняет роль смесительной зоны для питающего газового потока. Структурированный катализатор, размещенный ниже по потоку, таким образом снабжается питающей газовой смесью, которая лучше перемешана, особенно в радиальном направлении. Поддерживающее или опорное приспособление первого сегмента насадки ниже по потоку от неподвижного слоя катализатора, одновременно предотвращает ожигение неподвижного слоя катализатора. Однако, размещение отдела, содержащего неподвижный слой катализатора, ниже по потоку от структурированного катализатора также может быть полезно. В этом случае станет возможным использовать, например, более активный катализатор, содержащий благородные металлы, что будет повышать суммарную конверсию питающей газовой смеси в продукты синтез-газа.

Свободное пространство в реакционной камере, которое может вмещаться в отдел, содержащий неподвижный слой катализатора, предпочтительно образовано за счет изъятия соответствующего сегмента насадки, но при этом наличия соответствующего сегмента теплообменной трубки. Поддерживающие или опорные приспособления изъятых и последующего сегмента насадки, находящиеся с верхней стороны и нижней стороны этого отдела, затем могут служить удерживающими приспособлениями для неподвижного слоя катализатора. Если отдел, содержащий неподвижный слой катализатора расположен со стороны входа, т.е. выше по потоку от структурированного катализатора, то для этого катализатора, не обязательно, можно обеспечивать дополнительное удерживающее приспособление, например, перфорированную пластину.

В преимущественном варианте осуществления трубки для риформинга согласно изобретению теплообменная трубка, по меньшей мере, частично заполнена неподвижным слоем инертных структур или оборудована внутри направляющими пластинами. В зависимости от внутреннего диаметра теплообмен-

ной трубки этим способом можно эффективно повышать перенос тепла от продуктового потока синтез-газа к внутренней стенке трубки и теплопроводность этой стенки. В зависимости от требований к перепаду давления можно использовать либо неподвижный слой инертных конструкций (относительно высокое падение давления), либо направляющие пластины (относительно низкое падение давления).

В связи с конфигурацией и выбором материала трубки для риформинга данного изобретения и ее составляющих можно руководствоваться тем, что особенно в случае трубки для риформинга с внутренним теплообменом, коррозия, называемая "металлическое пылеобразование", может стать более явной из-за того, что относительно длинные секции теплообменных трубок иногда подвергаются воздействию температур в интервале, соответствующем коррозии по типу металлического пылеобразования.

Как упоминается в специализированной публикации "Metal Dusting Protective Coatings. A Literature Review", A. Agüero et al., Oxid Met (2011) 76:23-42, металлическое пылеобразование представляет собой тип коррозионного разрушения металлов и сплавов до частиц малого размера. Материалами, подверженными этому типу коррозии, являются, в частности, железо, никель, кобальт и их сплавы. Металлическое пылеобразование происходит при температурах от 400 до 800°C и в атмосфере газа, содержащего, в частности, монооксид углерода (CO) или углеводороды. При высоких температурах CO и углеводороды склонны к диссоциации над металлом и этим путем происходит отложение углерода на поверхности металла. Этот углерод затем переносится в твердую фазу и извлекает неустойчивые металлы из их гомогенной твердой матрицы, в результате чего происходит точечная коррозия и в конце концов механическое разрушение материалов.

Это приводит к высокой стоимости обслуживания и может создавать проблемы с безопасностью, например, в результате разрыва каналов или оборудования, работающих под давлением, и/или утечки токсичного монооксида углерода.

Коррозию по типу металлического пылеобразования можно часто наблюдать в процессах парового риформинга, в котором ей подвержены все части установки, в частности части оборудования секции отходящего тепла, которые приходят в контакт с синтез-газом, полученным в вышеупомянутых температурных пределах.

Возникновение металлического пылеобразования можно, например, предотвратить или, по крайней мере, замедлить путем нанесения ингибирующего коррозию покрытия на поверхность сплава. В данном документе часто используются диффузионные покрытия, образованные при нанесении на сплав металла или смеси металлов при температуре, достаточно высокой для обеспечения осуществления такой диффузии металла(ов) на подложку. Это создает металлургическое соединение с материалом подложки и покрытие становится неотделимой составной частью материала подложки. Изготовление целых частей установки, например, труб, из керамических материалов также предохраняет от коррозии по типу металлического пылеобразования.

В предпочтительном варианте осуществления трубку для риформинга данного изобретения получают путем нанесения предохраняющего от коррозии слоя на выпускной конец теплообменной трубки с его внутренней стороны, а также нанесения предохраняющего от коррозии слоя на ту часть внешней стороны, которая проходит сквозь разделительную пластину. Этот предохраняющий от коррозии слой может быть получен, например, из диффузионного слоя алюминия. В качестве альтернативы или дополнительно для изготовления теплообменной трубки следует использовать устойчивый к коррозии материал, например, никелевый сплав.

В следующем варианте осуществления изобретения, отводную камеру также изготавливают устойчивой к коррозии по типу металлического пылеобразования. Этого можно добиться с помощью выпускного конца теплообменной трубки, который проходит через отверстие в разделительной пластине во внутреннюю трубку, которая размещена внутри трубки кожуха и сообщается по текучей среде с каналом-сборником так, чтобы продуктивный синтез-газ мог проходить от реакционной камеры через отводную камеру в канал-сборник, причем на внутреннюю трубку нанесен устойчивый к коррозии слой, или она состоит из устойчивого к коррозии материала, например, керамического материала. В данном случае, нет необходимости вводить конец теплообменной трубки во внутреннюю трубку. Напротив, теплообменная трубка и внутренняя трубка также могут иметь небольшой промежуток между ними. Важно, чтобы газовый поток, выходящий из теплообменной трубки, практически весь перетекал во внутреннюю трубку, и таким образом открывалась в нее.

В следующем аспекте, печь риформинга, содержащая крышку, низ и стенки, выложенные или облицованные огнеупорным материалом, и сформированное таким образом внутреннее пространство, которая отличается тем, что по меньшей мере одна трубка для риформинга согласно изобретению и по меньшей мере одна горелка для нагрева трубки для риформинга размещены во внутреннем пространстве или во вторичном пространстве, сообщаемом по текучей среде с внутренним пространством в отношении топочных газов горелки.

В предпочтительном варианте осуществления трубка для риформинга размещена вертикально во внутреннем пространстве печи риформинга данного изобретения, где часть трубки для риформинга, включающая в себя реакционную камеру, размещена, по меньшей мере, частично во внутреннем пространстве, а часть трубки для риформинга, включающая в себя отводную камеру, размещена, по мень-

шей мере, частично вне внутреннего пространства. Преимуществом этого является то, что вход питающего газового потока и канал-сборник расположены с нижней стороны установки под печью риформинга, и, таким образом, доступ к ним для установки и инспекционных мероприятий прост. Кроме того, высота конструкции установки уменьшена по сравнению с компоновкой, которая описана, например в WO 2015/132555 A1, где вход газа и выход газа или канал-сборник находятся по разные стороны установки риформинга.

В следующем предпочтительном варианте осуществления трубки для риформинга данного изобретения вход питающего газового потока, содержащего сырье, также расположен вне внутреннего пространства. В данном случае преимущество заключается в том, что вход может быть выполнен из менее термостойкого материала, и доступ к ним для инспекционных мероприятий достаточно прост.

В конкретном варианте осуществления печи риформинга данного изобретения по меньшей мере одна трубка для риформинга размещена в свободно подвешенном или свободно стоящем состоянии во внутреннем пространстве, причем часть трубки кожуха, вмещающая в себя реакционную камеру, размещена во внутреннем пространстве, а часть трубки кожуха, вмещающая в себя отводную камеру, проходит, по меньшей мере, частично через крышку или низ. В этом контексте свободно подвешенная или свободно стоящая означает, что только один конец трубки для риформинга, вмещающий в себя отводную камеру, находится в механическом контакте с крышкой или низом печи риформинга.

Это особенно предпочтительно, поскольку таким образом устраняются термомеханические напряжения между входом для питающего газового потока и выходом продуктового потока синтез-газа, которые возникают вследствие значительной разницы в температурах в трубках для риформинга, известных из предшествующего уровня техники, в котором в каждом случае впускной конец и выпускной конец выступают из печи риформинга. Поэтому в трубках для риформинга для компенсации возникающих напряжений и их отрицательного влияния, например, деформации трубки для риформинга, используются сложные приспособления, такие как системы противовесов, компенсаторы напряжения (известные как гибкие соединения) или натягивающие тросы. Это не требуется в случае размещения трубки для риформинга в свободно подвешенном или свободно стоящем состоянии.

В качестве альтернативы последнему варианту осуществления печи риформинга данного изобретения, изложенному выше, можно рассмотреть размещение по меньшей мере одной трубки для риформинга в вертикальном или подвешенном состоянии во внутреннем пространстве, при котором запорное приспособление или часть трубки кожуха, прилегающая к нему, соединены с системой противовесов с целью предотвращения деформации трубки для риформинга, которая может быть вызвана продольным тепловым расширением трубки.

В следующем предпочтительном варианте осуществления печи риформинга данного изобретения множество трубок для риформинга и горелок размещено во внутреннем пространстве таким образом, что продольные оси пламени горелок направлены параллельно продольным осям трубок для риформинга. Таким образом горелка может обеспечить равномерный нагрев трубок для риформинга, размещенных вокруг нее. Кроме того, излучаемое тепло подводится к трубкам для риформинга по большей длине при параллельных осях пламени, и при этом исключается местный перегрев внешних сторон трубок для риформинга.

В следующем аспекте в изобретении предложен способ получения синтез-газа каталитическим паровым риформингом содержащего углеводороды сырья, предпочтительно, природного газа, в условиях парового риформинга в присутствии твердого катализатора, активность которого подходит для процесса парового риформинга, включающий в себя следующие стадии:

- (a) обеспечение питающего газового потока, содержащего сырье и добавленный в него пар для риформинга,
- (b) каталитическую конверсию сырья в условиях парового риформинга в продуктовый синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород,
- (c) отведение и, необязательно, доработку продуктового синтез-газа, характеризующийся тем, что каталитическую конверсию на стадии (b) выполняют в трубке для риформинга согласно данному изобретению в одном из указанных вариантов осуществления.

Пример.

Дополнительные разработки, преимущества и возможные применения данного изобретения также можно развить на основании следующего описания примеров и графических материалов. Все описываемые и/или изображенные признаки, либо сами по себе, либо в любой комбинации, образуют изобретение независимо от того, как они приведены в формуле изобретения или соответствующих обратных ссылках.

На фигурах показаны:

фиг. 1 - трубка для риформинга в соответствии с первым вариантом осуществления данного изобретения;

фиг. 2 - трубка для риформинга в соответствии со вторым вариантом осуществления данного изобретения;

фиг. 3 - трубка для риформинга в соответствии с третьим вариантом осуществления данного изобретения;

фиг. 4 - строение сегмента насадки;

фиг. 5 - наращивание структурированного катализатора путем установки друг на друга отдельных сегментов насадки.

Трубка для риформинга 1 согласно данному изобретению, показанная на фиг. 1, разделена на секции А (реакционная камера), В (отводная камера) и С (канал-сборник).

Обессеренный природный газ вместе с паром для риформинга поступают в реакционную камеру А, расположенную в верхней части трубки кожуха 3, через впускной канал 2. Трубка кожуха выполнена из никель-хромовой стали, например, марки G-X45NiCrNbTi3525. Температура питающего газа на входе составляет 600°C, а объемная скорость из расчета на объем катализатора, обычно составляет от 4000 до 5000 м_{СТР}³/(м³ч).

В данном примере трубка для риформинга расположена вертикально, причем открытый конец трубки кожуха 3 находится в верхнем положении, и нагревается извне с помощью горелок (не показаны на фиг. 1). Открытый трубчатый конец трубки кожуха закрыт в ходе работы трубки для риформинга с помощью запорного приспособления 4, например, фланцевой крышки, которую можно открывать, например, для инспекционных мероприятий и при загрузке или выгрузке катализатора.

После ввода в трубку кожуха природный газ и пар для риформинга поступают в структурированный катализатор 5, составленный из отдельных сегментов и по своей структуре соответствующий структурированному катализатору, описанному в US 2012/0195801 A1. Он покрыт содержащим никель активным слоем, обладающим необходимой для парового риформинга активностью. Структура структурированного катализатора устроена так, что значительная часть газового потока отклоняется в радиальном направлении. В результате часть газового потока ударяется о внутреннюю стенку реакционной трубки, улучшая тем самым радиальный теплоперенос. Однако эффект от этого ограничен, поэтому последующее усовершенствование радиального теплопереноса за счет трубки для риформинга по данному изобретению, будет полезно.

Сырье затем течет вверх сквозь структурированный катализатор, при этом происходит эндотермическая реакция парового риформинга. После выхода из структурированного катализатора частично преобразованный природный газ, который по-прежнему содержит непрореагировавший метан в дополнение к оксидам и водороду, поступает в свободное пространство 8, которое находится со стороны закрытого трубчатого конца 4 трубки кожуха. Частично прореагировавший питающий газовый поток затем поступает во впускной конец прямой теплообменной трубки 9, расположенной в неподвижном слое катализатора. Газовый поток, текущий через теплообменную трубку 9, отдает часть содержащегося в нем тепла при движении противотоком к неподвижному слою катализатора и питающему газовому потоку, протекающему сквозь него. Теплообменная трубка выполнена из материалов, обладающих хорошей стойкостью к коррозии по типу металлического пылеобразования, например, сплав 601, 602 СА, 617, 690, 692, 693, HR 160, HR 214, сплавы, содержащие медь, или многослойных материалов, в которых трубки покрывают слоем сплавов олово-никель или алюминий-никель. В качестве альтернативы или дополнительно выпускные концы теплообменных трубок с внутренней стороны покрыты предохраняющим от коррозии слоем, а с внешней стороны - на участках, проходящих через разделительную пластину. В данном примере этот предохраняющий от коррозии слой представляет собой диффузионный слой алюминия.

Одним возможным вариантом приведенного выше примера является заполнение свободного пространства 8 в холодном состоянии в основном катализатором, например неподвижным слоем обычного катализатора риформинга, доступного в виде формованных изделий. В горячем состоянии в ходе работы трубки для риформинга свободное пространство, которое выполняет описанную выше отклоняющую функцию для газового потока, снова образуется вследствие продольного теплового расширения трубки. В данном случае предпочтительно, чтобы контакт газового потока, содержащего продукты синтез-газа, с металлическими поверхностями, а следовательно, и вероятность коррозии, были уменьшены.

После прохода через теплообменную трубку продуктовый поток синтез-газа поступает в отводную камеру В. Для этой цели выпускной конец теплообменной трубки 9 проходит сквозь разделительную пластину 6 и таким образом закрепляется. Он затем открывается со стороны выпускного конца во внутреннюю трубку 10, которая представляет собой соединение между теплообменной трубкой 9 и каналом-сборником 11. Сходным образом, внутренняя трубка изготовлена из вышеупомянутых металлических материалов и на ее внутреннюю стенку, а также предпочтительно и внешнюю стенку, нанесен диффузионный слой алюминия в качестве защиты от коррозии. В качестве альтернативы также можно использовать внутреннюю трубку из керамического материала.

Внутренняя трубка 10 закрепляется между нижней стороной разделительной пластины 6 и каналом-сборником 11 с помощью креплений, которые не показаны. Поэтому между внутренней трубкой и нижней стороной разделительной пластины нет газонепроницаемого соединения, вместо этого между внутренней трубкой и разделительной пластиной есть промежуток, или она только опирается о нижнюю сторону последней. Таким образом может происходить уравнивание или перенос статического давления через газопроницаемый теплоизолирующий слой 12 к внутренней стенке трубки кожуха 3. Контакт внутренней стенки трубки кожуха с неподвижным или медленно текущим продуктовым синтез-газом не критичен, поскольку температура ее поверхности ниже температурного интервала, имеющего отношение

к коррозии по типу металлического пылеобразования в результате теплоизоляции. Поскольку по этой причине внутренняя трубка не работает под давлением, ее также можно изготавливать из менее устойчивых к давлению материалов, например, керамических материалов.

Газопроницаемый изолирующий материал 12 устанавливают между внешней стенкой внутренней трубки и внутренней стенкой трубки кожуха. Для этой цели можно использовать волокнистые изолирующие материалы, а также благодаря своей природе стабильные по своим размерам керамические формованные структуры. Формованные керамические структуры особенно предпочтительны, поскольку их можно особенно легко устанавливать и изымать. Благодаря стабильности их размеров их можно легко размещать в кольцевом пространстве между трубкой кожуха и внутренней трубкой в ходе сборки без необходимости в каких-либо определенных креплениях.

Также и со стороны выпускного конца внутренняя трубка 10 не соединена жестким или газонепроницаемым образом с каналом-коллектором 11, а просто соединена с последним или вдвинута в него. Кроме вышеуказанных преимуществ, внутреннюю трубку можно таким образом особенно легко заменять в случае инспекционных мероприятий на установке. Кроме того, удается избежать напряжения сжатия и растяжения, которые могут возникнуть в ходе работы трубки для риформинга вследствие разных коэффициентов теплового расширения материалов, используемых для трубки кожуха и внутренней трубки.

Канал-сборник 11 с его внутренней стороны оборудован теплоизолирующим материалом 13 и/или устойчивым к коррозии, например, керамическим покрытием 14, обладающими хорошей стойкостью к коррозии по типу металлического пылеобразования. Продуктовый поток синтез-газа выводится из трубки для риформинга 1 через канал-сборник и направляется на последующую доработку. Это в зависимости от предназначения продуктового синтез-газа может включать конверсию монооксида углерода, промывку газа для отделения диоксида углерода, адсорбцию с переменным давлением для отделения водорода и другие стадии разделения продуктов.

Второй вариант осуществления трубки для риформинга данного изобретения, как показано на фиг. 2, соотносится по своей конструкции и признакам, указанным ссыльными номерами 1-6 и 9-14, с вариантом осуществления, показанным на фиг. 1, и объяснен выше. Однако в данном случае есть дополнительный неподвижный слой катализатора 7, расположенный выше по потоку от структурированного катализатора. Этот неподвижный слой катализатора состоит из доступного в продаже катализатора риформинга, основанного на никеле, и представлен в виде формованных изделий. Свободное пространство в реакционной камере для вмещения неподвижного слоя катализатора образуется благодаря неиспользованному первому в направлении потока сегменту насадки. Кроме того, в качестве удерживающего приспособления применяют сетку или перфорированную пластину с нижней стороны неподвижного слоя катализатора. Предпочтительно, чтобы неподвижный слой катализатора не доходил до разделительной пластины 6, а напротив, чтобы под ней оставалось свободное пространство, которое служит для распределения питающей газовой смеси по поперечному сечению трубки для риформинга.

Использование неподвижного слоя катализатора в подобласти реакционной камеры трубки для риформинга создает вышеуказанные преимущества в отношении затрат. Кроме того, предпочтительно, чтобы неподвижный слой катализатора, расположенный выше по потоку от структурированного катализатора одновременно выполнял роль смесительной зоны для питающего газового потока. Таким образом, питающая газовая смесь, лучше перемешанная, особенно в радиальном направлении, подается на находящийся ниже по потоку структурированный катализатор. Поддерживающее или опорное приспособление первого из сегментов насадки, расположенное ниже по потоку от неподвижного слоя катализатора, одновременно предотвращает ожигание неподвижного слоя катализатора.

Третий вариант осуществления трубки для риформинга данного изобретения, как показано на фиг. 3, соотносится по своей конструкции и признакам, указанным ссыльными позициями 1-14, со вторым вариантом осуществления, показанным на фиг. 2, и объяснен выше. Однако слой неподвижного катализатора 7 в данном случае находится ниже по потоку от структурированного катализатора, что повышает суммарную конверсию питающей газовой смеси в продуктивный синтез-газ. В данном случае в качестве катализатора предпочтительно использовать тип катализатора, который активен при более низкой температуре и основан на никеле и/или содержит благородные металлы. Опасность нежелательного ожигания неподвижного слоя катализатора в случае такого расположения ниже, чем в варианте осуществления, показанном на фиг. 2, поскольку питающий газовый поток уже потерял часть своей кинетической энергии в результате падения давления на структурированном катализаторе. Однако в целях безопасности, и при условии, что параметры перепада давления позволяют это, можно устанавливать удерживающее приспособление ниже по потоку от неподвижного слоя катализатора 7 со стороны выпускного конца, как показано прерывистой линией на фиг. 3.

В случае всех вариантов осуществления, в которых присутствуют секции, содержащие неподвижные слои катализатора, дополнительно к структурированному катализатору, следует обеспечить отсутствие свободного пространства между участками структурированного и неструктурированного катализатора в горячем состоянии в ходе работы трубки для риформинга, поскольку реакции риформинга не происходят в свободном пространстве вследствие отсутствия катализатора и возможного перегрева из-за не-

достаточного потребления тепла.

На фиг. 4(а) схематически показана конструкция сегментов насадки 51 как вид сбоку в качестве возможного варианта осуществления данного изобретения. В приведенном примере теплообменная трубка 9 также выполнена из отдельных трубчатых сегментов 52. Поддерживающее и опорное приспособление 53 прикреплено с помощью, например, сварного соединения, к трубчатому сегменту 52. В качестве поддерживающего и опорного приспособления можно использовать, например, перфорированную пластину. В направлении центра сегмента насадки поддерживающее и опорное приспособление заканчивается выступом 54, который служит в качестве крепежного элемента для примыкающего снизу сегмента насадки. Материал насадки 55 опирается на поддерживающее и опорное приспособление и окружает трубчатый сегмент 52 на манер кольца.

Сегменты теплообменной трубки могут выполнять дополнительные функции в сборке трубки для риформинга данного изобретения. Так, материал насадки 55 может сначала помещаться и центрироваться на трубчатом сегменте 52, а затем и прикрепляться к нему. Сегмент насадки 51 затем вставляют в трубку кожуха 3 и материал насадки 55 расширяется в радиальном направлении до внутренней стенки трубки кожуха так, чтобы возникло по сути газонепроницаемое перекрытие и таким образом минимизировать спрямленные потоки вдоль внутренней стенки трубки кожуха, а следовательно, и в обход структурированной насадки.

На фиг. 4(б) показан сегмент насадки 51, изображенный на фиг. 4(а) на виде спереди, без материала насадки 55. Теперь видны упоры 56, которые размещены под опорной пластиной 53 и поддерживают последнюю снизу. Они прикреплены к трубчатому сегменту 52. Если опорная пластина и упоры изготовлены из металла или иного материала, имеющего хорошую теплопроводность, то это дополнительно способствует радиальному теплопереносу в трубке для риформинга.

На фиг. 5 показано наращивание структурированного катализатора путем установки друг на друга отдельных сегментов насадки 51 в трубке кожуха 3. Выступы 54 в каждом случае снизу вступают в зацепление с сегментом теплообменной трубки 52 и таким образом закрепляют ее. Дополнительная опорная пластина 53, которой сверху заканчивается сборка, и секция трубы, которой снизу заканчивается сборка, служащая для закрепления самого низкого сегмента насадки и удерживающая всю сборку, упирающуюся в разделительную пластину 6, не показаны (фиг. 1-3).

При конструировании структурированного катализатора следует обеспечить конструкции возможность двигаться в направлении оси внутри трубки кожуха, чтобы избежать механических нагрузок вследствие продольного теплового расширения трубки для риформинга в ходе ее работы. С другой стороны, отдельные сегменты теплообменных трубок 52 после сборки должны быть непроницаемы под давлением; в данном контексте непроницаемость под давлением означает падение давления, происходящее в питающем газовом потоке в ходе прохождения через трубку для риформинга. Это должно обеспечиваться соответствующими конструктивными приемами, с помощью которых, например, создается соответствующее контактное давление в вертикальном направлении теплообменной трубки, составленной из этих сегментов.

Промышленная применимость

В изобретении предложена трубка для риформинга, которая обладает усовершенствованными свойствами в отношении перепада давления в сочетании с интенсивным контактом между поверхностью катализатора и питающими газами и в которой одновременно улучшен внутренний теплообмен, в частности в радиальном направлении, по сравнению с трубками для риформинга, известными из предшествующего уровня техники. Благодаря этим двум свойствам уменьшается потребление энергии, необходимое для работы установки риформинга, и тем самым улучшаются экономические показатели процесса.

Перечень ссылочных позиций

- 1 - трубка для риформинга
- 2 - впускной канал
- 3 - трубка кожуха
- 4 - запорное приспособление
- 5 - структурированный катализатор
- 6 - разделительная пластина
- 7 - неподвижный слой катализатора
- 8 - свободное пространство
- 9 - теплообменная трубка
- 10 - внутренняя трубка
- 11 - канал-сборник
- 12 - теплоизолирующий слой
- 13 - теплоизолирующий слой
- 14 - покрытие
- 51 - сегмент насадки
- 52 - сегмент теплообменной трубки
- 53 - поддерживающая пластина

- 54 - выступ
- 55 - сегмент насадки
- 56 - упор
- А - реакционная камера
- В - отводная камера
- С - канал-сборник

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Трубка для риформинга для конверсии содержащего углеводороды сырья, предпочтительно природного газа, в продуктовый синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород, в условиях парового риформинга, содержащая:

(а) реакционную камеру, содержащую внешнюю трубу кожуха, выполненную для работы под давлением и обогреваемую снаружи, где труба кожуха отделена на одном своем конце от прилежащей отводной камеры с помощью разделительной пластины и закрыта на другом своем конце с помощью запорного приспособления;

(b) по меньшей мере одну структурированную насадку, которая размещена в реакционной камере и содержит катализатор, активный в отношении процесса парового риформинга;

(с) вход для питающего газового потока, содержащего сырье, расположенный на реакционной камере, находящийся на конце реакционной камеры, наиболее близко расположенном к разделительной пластине, и сообщающийся по потоку со входом для газа в структурированную насадку;

(d) теплообменную трубку, которая размещена внутри реакционной камеры и внутри структурированной насадки и чей впускной конец сообщается по потоку с выходом для газа из структурированной насадки, и чей выпускной конец сообщается по потоку с отводной камерой, так что обеспечивается возможность протекания питающего газового потока после входа в реакционную камеру сначала через структурированную насадку, а затем противотоком через теплообменную трубку, и обмена теплом продуктового потока синтез-газа, текущего по ней, со структурированной насадкой и питающим газовым потоком, текущим через нее;

(е) канал-сборник для продуктового синтез-газа, который сообщается по потоку с отводной камерой, где

(f) выпускной конец теплообменной трубки, проходящий через разделительную пластину, открывающийся в отводную камеру и сообщающийся по потоку с каналом-сборником так, чтобы продуктовый синтез-газ мог проходить от реакционной камеры через отводную камеру в канал-сборник, причем

(g) трубка кожуха и теплообменная трубка имеют круглое поперечное сечение, а структурированная насадка имеет кольцевое поперечное сечение и

(h) трубка кожуха, структурированная насадка и теплообменная трубка расположены соосно и концентрически, при этом

(i) структурированная насадка расположена между внутренней стенкой трубки кожуха и внешней стенкой теплообменной трубки таким образом, чтобы минимизировать потоки вдоль указанных стенок в обход структурированной насадки.

2. Трубка для риформинга согласно п.1, отличающаяся тем, что она размещена вертикально, причем реакционная камера расположена в верхнем отделе, а отводная камера расположена в нижнем отделе, и обеспечивается протекание питающего газового потока снизу вверх через структурированную насадку.

3. Трубка для риформинга согласно любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что и структурированная насадка и теплообменная трубка состоят из отдельных модулей или сегментов, причем каждый сегмент теплообменной трубки оборудован поддерживающим или опорным приспособлением для соответствующего сегмента насадки.

4. Трубка для риформинга согласно любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что реакционная камера включает в себя по меньшей мере один отдел, который содержит неподвижный слой частиц - твердый катализатор, активность которого подходит для процесса парового риформинга.

5. Трубка для риформинга согласно п.4, отличающаяся тем, что отдел, содержащий неподвижный слой катализатора, образован за счет изъятия соответствующего сегмента насадки и наличия соответствующего сегмента теплообменной трубки.

6. Трубка для риформинга согласно любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что теплообменная трубка, по меньшей мере, частично заполнена неподвижным слоем инертных структур или оборудована внутри направляющими пластинами.

7. Печь риформинга, содержащая крышку, низ и стенки, выложенные или облицованные огнеупорным материалом и сформированным таким образом внутренним пространством, отличающаяся тем, что по меньшей мере одна трубка для риформинга согласно любому из пп.1-6 и по меньшей мере одна горелка для нагрева трубки для риформинга размещены во внутреннем пространстве или во вторичном пространстве, сообщаемом по текучей среде с внутренним пространством в отношении топочных газов горелки.

8. Печь риформинга согласно п.7, отличающаяся тем, что по меньшей мере одна трубка для риформинга размещена вертикально во внутреннем пространстве, где часть трубки для риформинга, включающая в себя реакционную камеру, размещена, по меньшей мере, частично во внутреннем пространстве, а часть трубки для риформинга, включающая в себя отводную камеру, размещена, по меньшей мере, частично вне внутреннего пространства.

9. Печь риформинга согласно п.8, отличающаяся тем, что вход питающего газового потока, содержащего сырье, также расположен вне внутреннего пространства.

10. Печь риформинга согласно любому из пп.7-9, отличающаяся тем, что множество трубок для риформинга и горелок размещено во внутреннем пространстве и тем, что продольные оси пламени горелок направлены параллельно продольным осям трубок для риформинга.

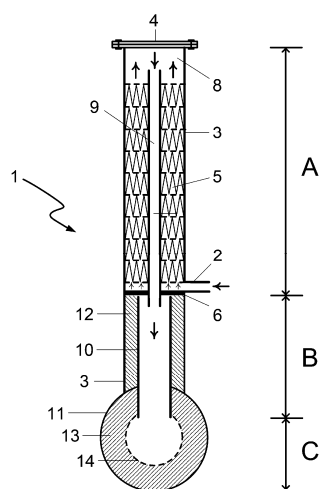
11. Способ получения синтез-газа каталитическим паровым риформингом содержащего углеводороды сырья, предпочтительно природного газа, в условиях парового риформинга в присутствии твердого катализатора, активного в отношении процесса парового риформинга, включающий в себя следующие стадии:

(a) подвод питающего газового потока, содержащего сырье и добавленный в него пар для риформинга;

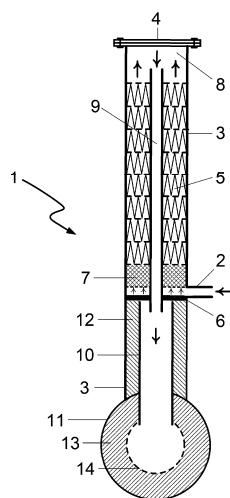
(b) каталитическую конверсию сырья в условиях парового риформинга в продуктивный синтез-газ, содержащий оксиды углерода и водород;

(c) отведение продуктового синтез-газа, характеризующийся тем, что каталитическую конверсию на стадии (b) выполняют в трубке для риформинга согласно любому из пп.1-6.

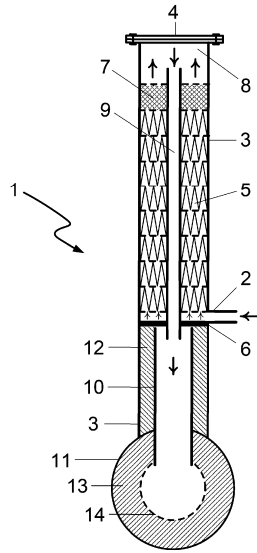
12. Способ по п.11, в котором на стадии (c) дополнительно осуществляют доработку продуктового синтез-газа.



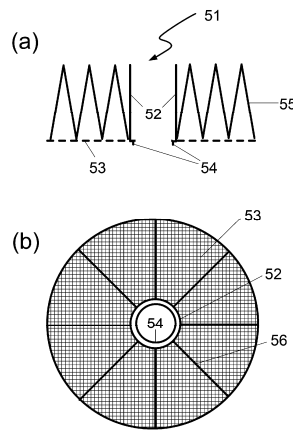
Фиг. 1



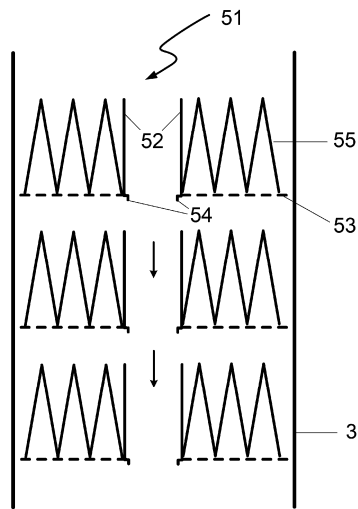
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5