

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038433**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.08.27

(21) Номер заявки
201891252

(22) Дата подачи заявки
2016.11.17

(51) Int. Cl. **F23C 5/08** (2006.01)
F23C 13/00 (2006.01)
F23D 14/84 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭНДОТЕРМИЧЕСКОГО СПОСОБА С УЛУЧШЕННОЙ СХЕМОЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРЕЛОК**

(31) **15307007.3**

(32) **2015.12.15**

(33) **EP**

(43) **2018.10.31**

(86) **PCT/EP2016/077960**

(87) **WO 2017/102234 2017.06.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**Л'ЭР ЛИКВИД СОСЬЕТЕ АНОНИМ
ПУР Л'ЭТЮД И ЛЕКСПЛОТАСЙОН
ДЕ ПРОСИД ЖОРЖ КЛОД (FR)**

(72) Изобретатель:

**Ками-Пейре Фредерик, Кансес
Жюльен, Тудораш Диана (FR)**

(74) Представитель:

**Харин А.В., Буре Н.Н., Стойко Г.В.
(RU)**

(56) EP-A1-2708812
EP-A2-2369229
US-A1-2012259147
EP-A2-2325562

(57) Печь для осуществления эндотермического способа, содержащая трубки, содержащие катализатор для конверсии газообразного сырья, причем трубки расположены рядами внутри печи, при этом горелки установлены между трубками и между трубками и стенками печи параллельно ряду трубок и при этом ряды горелок и ряды трубок заканчиваются торцевыми стенками и разделены на секции, при этом расстояние от крайней горелки до торцевой стенки составляет B2W, расстояние между двумя смежными горелками в секции составляет B2B и половина расстояния между двумя секциями составляет B2S, при этом горелки в рядах расположены таким образом, что соотношения B2B/B2W и B2B/B2S составляют более 1,3 с ограничением, таким образом, возникновения явления слияния пламени и значительным снижением среднего квадратичного профиля температуры трубки.

B1**038433****038433****B1**

Настоящее изобретение относится к конструктивному исполнению печей с верхним обогревом или нижним обогревом для парового риформинга метана (SMR) и других эндотермических реакций, таких как крекинг углеводородного сырья в реакторах с наружным обогревом.

Способ SMR, главным образом, основан на реакции риформинга легких углеводородов, таких как метан, которая обеспечивает получение смеси водорода (H_2) и монооксида углерода (CO) в присутствии водяного пара. Реакция является эндотермической и медленной и требует дополнительного подвода теплоты, а также катализатора для возникновения. Обычно характеристики производительности SMR-реактора ограничены теплопередачей, а не кинетикой реакций.

В промышленной практике SMR-реактор обычно содержит трубки, расположенные в печи, причем указанные трубки заполнены катализатором, обычно в виде гранул, и в них подают смесь технологического газа, состоящую из метана и пара.

Доступно несколько хорошо зарекомендовавших себя конфигураций конструктивного исполнения печей, как проиллюстрировано на фиг. 1, на которой представлены конфигурации с верхним обогревом (также известные как "с нисходящим пламенем"), с нижним обогревом (также известные как "с восходящим пламенем"), с боковым обогревом и со ступенчатой стенкой.

Технология с верхним обогревом является одним из наиболее упоминаемых конструктивных исполнений и предлагается несколькими поставщиками технологий. Печи с верхним обогревом обычно изготовлены из топочной коробки с огнеупорной футеровкой, содержащей несколько рядов трубок, содержащих катализатор. Необходимую теплоту для осуществления эндотермической реакции обеспечивают потолочными горелками, расположенными рядами между трубками, а также рядами дополнительных потолочных горелок с боковой стороны печи вдоль стенок печи. Продукты сгорания от горелок обычно выдувают вертикально вниз, таким образом, ряды трубок сталкиваются с пламенем в своей верхней части. Выхлопной коллектор дымовых газов обычно обеспечен на уровне пола печи.

Технология с нижним обогревом реже встречается в современных установках. В соответствии с технологией с нижним обогревом горелки расположены рядами на полу зоны горения между рядами трубок и обеспечивают пламя, направленное вертикально вверх. Данный тип риформера характеризуется практически постоянным профилем теплового потока вдоль трубки.

Основная цель конструктивного исполнения печи (также называемого конструктивным исполнением топочной коробки) состоит в максимальном увеличении количества теплоты, передаваемого от горелок к трубкам - от пламени, исходящего от горелок, а также от стенок и горячего дымового газа при соблюдении ограничения максимальной рабочей температуры трубки. Максимальная рабочая температура трубки или МОТ (также известная как максимальное рабочее ограничение или МОТ) зависит от ряда факторов и, в частности, от механической нагрузки на трубку (главным образом давления подаваемого газа), от механических свойств сплавов, применяемых для изготовления трубок, и от необходимого срока службы трубок, подверженных ползучести и термическому старению.

Любое увеличение количества теплоты, передаваемой трубкам, имеет непосредственное положительное воздействие либо благодаря повышению производительности, либо благодаря повышению компактности топочной коробки, которая является ценной с точки зрения капитальных затрат. Тем не менее, увеличение количества передаваемой теплоты обычно подразумевает более высокие уровни температур поверхностного слоя трубки, что снижает срок службы трубки или требует более стойких сплавов, которые являются намного более дорогостоящими.

Недостаток однородности в распределении тепловой нагрузки в печи приведет к тому, что некоторые из трубок будут более горячими, чем другие, поэтому профили температуры трубок являются критическими элементами для конструктивного исполнения печи и в ходе работы. Профили температуры трубок предоставляют решающую информацию при поиске надлежащего компромисса между характеристиками производительности и износостойкостью; по сути, необходим надлежащий компромисс.

Таким образом в ходе технологических операций характеристики производительности печи ограничены температурой самой горячей трубки; она не должна превышать МОТ. В то же время технологические показатели, т.е. продуктивность или эффективность конверсии, зависят от средних значений теплового потока и температур трубок. Таким образом, чем меньше разность между температурой самой горячей трубки и средней температурой трубок, тем лучше характеристики производительности печи.

Стремясь к простоте, большинство объяснений, которые приводятся далее, приведены в отношении печи с верхним обогревом. Тем не менее, следует отметить, что большинство фигур и объяснений относятся также к печам с нижним обогревом.

В такой печи катализаторные трубки расположены рядами внутри печи. Сырье подают через верхнюю часть трубок; полученный синтез-газ, содержащий водород и монооксид углерода в качестве основных компонентов и остаточные примеси, извлекают в нижней части трубок. Горелки расположены рядами между рядами трубок и между трубками и стенками. Образовавшиеся дымовые газы извлекают через выхлопные каналы.

Существенное количество трубок и горелок делает необходимым добавление потолочных балок для поддержки конструкции и обеспечения безопасности печи; причем указанные опорные балки разделяют ряды на несколько частей (также известных как секции или отсеки).

На фиг. 3 показан вид сверху печи с верхним обогревом с 8 рядами по 54 трубки в каждом, сгруппированными в 3 секциях (или отсеках) по 18 трубок в каждом, и 9 рядами по 12 горелок, также упорядоченными в 3 секциях по 4 горелки в каждом и параллельными рядам трубок. Ряды горелок заканчиваются стенкой (стенкой вдоль оси Y, также обозначаемой как "торцевые стенки"). Для всех рядов горелок крайние горелки, обращенные к торцевой стенке, обозначают как "торцевые горелки".

Секции заканчиваются либо торцевой стенкой, либо плоскостью симметрии, разделяющей две смежные секции. Крайние горелки, расположенные наиболее близко к плоскостям симметрии, обозначены как "крайние относительно плоскости симметрии горелки". Данное деление на секции приводит к неодинаковым граничным условиям для струй пламени, что приводит к слиянию струй в направлении центра секций.

По всему описанию выражение "ряд горелок" следует понимать как "ряд горелок, параллельный рядам трубок", направление рядов также обозначено как ось X; ряды горелок, которые перпендикулярны рядам трубок (вдоль оси Y), будут в явном виде обозначены при необходимости как "ряд горелок, перпендикулярный рядам трубок" или "ряд, параллельный оси Y".

В печах, охватываемых настоящим изобретением, где горелки установлены рядами, параллельными рядам трубок, для каждой горелки направление струи пламени, создаваемого горелкой, зависит от взаимодействия с соседними, одновременно вытекающими струями и от наличия стенки (если таковая присутствует).

В дальнейшем в настоящем изобретении будет рассматриваться лишь взаимодействие струй пламени в пределах ряда горелок, параллельного рядам трубок (вдоль оси X). Следует отметить, что все горелки ряда, параллельного рядам трубок, работают при одинаковой мощности, что не относится к горелкам ряда, перпендикулярного рядам трубок.

В предшествующем уровне техники и, в частности, в документах US 7686611, US 2011/0220847, US 2007/0128091, US 2015/0217250, уже рассматривался случай взаимодействия струй пламени в пределах ряда горелок, перпендикулярного рядам трубок (вдоль оси Y), и проблемы, характерные для данного направления, таким образом, не рассматриваются в настоящем изобретении.

Тем не менее, проблема взаимодействия пламени струй в пределах ряда горелок, параллельного рядам трубок, порождает также проблемы, которые не были решены в предшествующем уровне техники, и настоящее изобретение направлено на сосредоточение внимания на динамических характеристиках горелок в рядах вдоль оси X и направлено на их улучшение; более конкретно, настоящее изобретение направлено на поиск решения в отношении недостатка однородности нагревания трубок вдоль оси X.

Рассмотрим теперь струю пламени, выходящую из торцевой горелки; она ведет себя как струя текучей среды: струя пламени, проходящая мимо пламени смежной струи, должна распыляться посредством внешнего потока текучей среды, текущего в таком же направлении; с другой стороны, пламя струи, проходящее мимо торцевой стенки, заведомо характеризуется своей локальной скоростью около торцевой стенки, равной нулю. Данные неодинаковые граничные условия вызывают отклонение струи пламени относительно оси струи.

Кроме того, большое количество трубок и/или горелок в каждом ряду вызывает геометрические ограничения в печи, что делает необходимым добавление опорных балок для обеспечения безопасности печи; причем указанные опоры, таким образом, находятся в полостях (или пустотах), которые разделяют ряды на несколько периодически повторяющихся секций. Данное разделение обуславливает дополнительные неодинаковые граничные условия, которые влияют на пламя струи, приводя к изменениям скорости в поперечном направлении относительно оси струи крайних относительно плоскости симметрии горелок, которые расположены наиболее близко к указанным опорам.

Это означает, что пламя струй, генерируемое различными горелками в ряду, подвергается различным воздействиям в зависимости от их местоположения в ряду, и, следовательно, трубки получают переменное количество теплоты в зависимости от их положения в ряду.

Для иллюстрирования данного явления были выполнены численные моделирования с использованием алгоритма вычислительной динамики жидкости и газа 3-D (CFD), предназначенного для расчета теплопередачи между камерой сгорания и трубчатыми каталитическими реакторами.

С данной целью определены "иллюстративные отсеки" SMR-печи с верхним обогревом; определенные "иллюстративные отсеки" должны быть "иллюстративными" для повторяющихся секций (или отсеков), описанных выше, а также должны учитывать наличие стенок или плоскостей симметрии. Тогда модульный стандартный риформер может состоять из сборки некоторого количества иллюстративных отсеков для обеспечения необходимой производительности установки.

В зависимости от количества трубок и горелок в рядах и/или дополнительных геометрических ограничений могут существовать различные типы "иллюстративных отсеков" с различными количествами горелок и трубок. Тем не менее, следует отметить, что настоящее изобретение относится ко всем типам секций в отношении количества горелок, или в отношении количества трубок, или в отношении типа края секции (либо торцевая стенка, либо полость, разделяющая смежные секции).

Такие иллюстративные отсеки показаны на фиг. 4. Для простоты последующие объяснения относятся к иллюстративному отсеку, состоящему из подгруппы из восемнадцати трубок, нагреваемых двумя

рядами по четыре горелки одинаковой мощности, с торцевой стенкой на одном конце отсека и плоскостью симметрии на втором конце отсека.

На фиг. 5а проиллюстрирован эффект слияния пламени струй, возникающий из-за отклонения струй пламени вблизи стенки и полости, разделяющей смежные секции.

Слияние пламени струй в направлении середины отсека приводит к неоднородной теплопередаче к трубкам для риформинга; причем трубки в середине иллюстративного отсека достигают более высокой температуры поверхностного слоя, как показано в результатах 3-D CFD на фиг. 5b. В представленном случае разность между максимальным значением температуры поверхностного слоя и минимальным значением температуры поверхностного слоя внутри иллюстративного отсека достигает 30°C.

Таким образом, существует проблема недостатка однородности нагревания вдоль ряда трубок, и настоящее изобретение направлено на решение данной проблемы контроля однородности теплового потока в SMR с верхним обогревом (в том числе и с нижним обогревом) посредством ограничения слияния пламени струй вдоль рядов трубок.

Авторы настоящего изобретения обнаружили, что принцип расположения горелок в ряду, несколько расстояний между горелками, торцевыми стенками и плоскостями симметрии, а точнее - некоторые конкретные соотношения расстояний, очень важны для предотвращения слияния струй пламени. Такие расстояния, представляющие интерес, представлены на фиг. 6; причем на данной фигуре показан такой же иллюстративный отсек, что и на фиг. 4, - с восемнадцатью находящимися на одной линии трубками с двумя рядами по четыре горелки, расположенными по бокам. На чертеже также указаны расстояния, которые были определены как ключевые параметры, которые являются следующими:

B2B представляет собой расстояние между двумя смежными горелками в отсеке;

B2W представляет собой расстояние между крайней горелкой и торцевой стенкой;

B2S представляет собой расстояние между горелкой, находящейся вблизи полости, обеспечивающей симметрию, т.е. смежной к другому отсеку, и плоскостью симметрии, серединой полости между двумя смежными отсеками, таким образом, B2S представляет собой половину расстояния между двумя секциями.

Соотношения, которые авторы настоящего изобретения рассматривают как решающие, представляют собой B2B/B2S и B2B/B2W.

Цель настоящего изобретения состоит в ограничении явления слияния пламени вдоль рядов горелок.

Еще одной целью настоящего изобретения является уменьшение диапазона значений температур трубок вдоль рядов трубок, нагреваемых рядами указанных горелок.

Настоящее изобретение предлагает достичь указанных целей с помощью печи и способа осуществления конструктивного исполнения данной печи, которые позволят избежать возникновения слияния струй пламени, а также проблемы перегрева трубок посредством оптимизированной схемы расположения горелок вдоль рядов горелок.

Таким образом, целью настоящего изобретения является предоставление печи для осуществления эндотермического способа, содержащей трубки, содержащие катализатор для конверсии газообразного сырья, причем трубки расположены рядами внутри печи, при этом горелки установлены между трубками и между трубками и стенками печи параллельно ряду трубок, и при этом ряды горелок и ряды трубок заканчиваются торцевыми стенками и разделены на секции, при этом расстояние от крайней горелки до торцевой стенки составляет B2W, расстояние между двумя смежными горелками в секции составляет B2B, и половина расстояния между двумя секциями составляет B2S, отличающейся тем, что горелки в рядах расположены таким образом, что соотношения B2B/B2W и B2B/B2S составляют более 1,3 с ограничением, таким образом, возникновения явления слияния пламени и значительным снижением среднего квадратичного профиля температуры трубки.

В предпочтительной печи согласно настоящему изобретению соотношения B2B/B2W и B2B/B2S составляют более 1,6 и предпочтительно более 1,8, приводя, таким образом, к дополнительному улучшению среднего квадратичного профиля температуры трубки.

При этом более предпочтительно, чтобы B2B/B2W и B2B/B2S были равны и составляли более 1,6 и предпочтительно были равны и составляли более 1,8.

В частности, настоящее изобретение подходит для печи с горелками, установленными на потолке печи.

В соответствии с другим вариантом осуществления горелки установлены на полу и обеспечивают пламя, направленное вертикально вверх.

Риформер согласно настоящему изобретению предпочтительно представляет собой печь парового риформинга метана.

В соответствии с другим аспектом настоящее изобретение относится к эндотермическому способу, подлежащему осуществлению в печи, содержащей трубки и горелки, причем указанный способ включает введение газообразного сырья и пара в трубки, содержащие катализатор для конверсии газообразного сырья, при этом трубки расположены рядами внутри печи,

сжигание топлива с помощью воздуха в горелках, которые установлены между трубками и между

трубками и стенками печи параллельно ряду трубок,
сброс продуктов, образовавшихся в нижнем конце трубок,
при этом ряды горелок и ряды трубок заканчиваются торцевыми стенками и разделены на секции,
при этом расстояние от крайней горелки до торцевой стенки составляет $B2W$, расстояние между двумя смежными горелками в секции составляет $B2B$, и половина расстояния между двумя секциями составляет $B2S$,

отличающемся тем, что горелки в рядах расположены таким образом, что соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ составляют более 1,3 с ограничением, таким образом, возникновения явления слияния пламени и значительным снижением среднего квадратичного профиля температуры трубки.

Кроме того, способ согласно настоящему изобретению можно осуществлять отдельно или в комбинации со

способом парового риформинга метана;

способом согласно п.8 формулы изобретения, где соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ составляют более 1,6 и предпочтительно более 1,8;

способом согласно п.9 формулы изобретения, где соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ равны;

способом согласно пп.7-10 формулы изобретения, где печь представляет собой печь с верхним обогревом;

способом согласно пп.7-10 формулы изобретения,

подлежащим осуществлению в печи с нижним обогревом. Печь согласно настоящему изобретению и ее преимущества будут описаны более подробно в следующих примерах и на основании графических материалов, где:

на фиг. 1 показана конфигурация горелок для типичных конструктивных исполнений печи;

на фиг. 2 показана типичная схема расположения с помощью 3D-представления печи с верхним обогревом, применяемой для синтеза синтез-газа;

на фиг. 3 показан вид сверху печи с верхним обогревом, демонстрирующий группировку трубок и горелок;

на фиг. 4 показан вид сверху той же печи, демонстрирующий "иллюстративные отсеки" в масштабе печи;

на фиг. 5a показано слияние струй пламени для выбранного "иллюстративного отсека" (с 4 горелками и 18 трубками);

на фиг. 5b показан профиль максимальной температуры поверхностного слоя трубки для 18 трубок того же иллюстративного отсека, что и на фиг. 5a;

на фиг. 6 показаны ключевые параметры согласно настоящему изобретению для распределения горелок в иллюстративном отсеке по фиг. 5a и 5b;

фиг. 7 представляет собой 3 различных варианта распределения горелок в иллюстративном отсеке по фиг. 6;

на фиг. 8 проиллюстрированы динамические характеристики струй пламени для 3 случаев, представленных на фиг. 7;

на фиг. 9 показаны максимальные значения температур поверхностного слоя трубок для 18 трубок иллюстративного отсека для тех же 3 случаев, представленных на фиг. 8;

на фиг. 10 представлена таблица, в которой приведено среднеквадратичное значение температуры трубок, полученное при моделировании, применяемом к ряду иллюстративных отсеков.

Как указано выше, настоящее изобретение направлено на предоставление улучшенного конструктивного исполнения печи типа печи с верхним обогревом или печи с нижним обогревом - такие печи проиллюстрированы на фиг. 1 - для осуществления эндотермического способа; причем цель состоит в смягчении температурных колебаний вдоль ряда горелок, параллельного рядам трубок, вдоль оси X, имеющих одинаковую мощность, благодаря улучшенному распределению горелок вдоль указанного ряда.

Для того чтобы иметь возможность определять и предлагать наилучшие варианты схемы расположения горелок вдоль ряда были осуществлены численные моделирования для различных вариантов расположения горелок, имеющих одинаковую мощность, вдоль ряда горелок для нескольких SMR-установок.

Средство, применяемое для определения наилучших вариантов распределения горелок в "иллюстративном отсеке", представляет собой средство, применяемое в соответствии с данным документом выше для содействия устранению недостатка однородности струй пламени и значений температур трубок, обусловленного существующими конструктивными исполнениями.

Выполнены численные моделирования для иллюстративных отсеков SMR с верхним обогревом с применением алгоритма вычислительной динамики жидкости и газа 3-D (CFD), предназначенного для расчета теплопередачи между камерой сгорания и трубчатыми каталитическими реакторами.

Для данной печи выбраны иллюстративные отсеки; причем определенные иллюстративные отсеки должны быть иллюстративными для повторяющихся секций, а также должны учитывать наличие стенок, а также полостей между секциями для печей с двумя или более секциями. Затем может быть составлен

модульный стандартный риформер с необходимой производительностью посредством сборки подходящего количества иллюстративных отсеков.

Прочтение следующего более подробного описания графических материалов поможет в понимании настоящего изобретения.

На фиг. 2 показан трехмерный вид в перспективе печи; точнее на нем показана типичная схема печи 1 с верхним обогревом, применяемой для получения синтез-газа из сырья, содержащего метан и пар. Катализаторные трубки 2 расположены рядами внутри печи 1. Сырье подают через трубки 2 из верхней части в нижнюю; полученный синтез-газ, содержащий водород и монооксид углерода в качестве основных компонентов и остаточные примеси, извлекают из нижней части трубок 2. Горелки 3 расположены рядами между рядами трубок и между рядами трубок и стенками вдоль оси X. Полученные дымовые газы отводят через выхлопные каналы 4.

На фиг. 3 показан вид сверху печи 1 с верхним обогревом с 8 рядами 9 по 54 трубки, причем каждый ряд упорядочен в 3 секциях 10 по 18 трубок в каждом, и 9 рядами 5 по 12 горелок 6, упорядоченными в 3 секциях 10 по 4 горелки в каждом и параллельными рядам трубок. Ряды 5 горелок 6 заканчиваются стенкой 7 (стенкой вдоль оси Y, также обозначаемой как "торцевая стенка"). Для всех рядов 5 горелок 6 крайние горелки 8a, обращенные к стенке 7, обозначают как "торцевые горелки".

Как уже упоминалось, существенное количество трубок и горелок делает необходимым добавление опорных балок для обеспечения безопасности печи; причем указанные опоры разделяют ряды на несколько частей (также известных как секции или отсеки 10). Секции 10 заканчиваются либо стенкой 7, либо плоскостью 11 симметрии, разделяющей две смежные секции. Крайние горелки 8b, расположенные наиболее близко к плоскостям 11 симметрии, обозначены как "крайние относительно плоскости симметрии горелки". Данное деление на секции 10 приводит к неодинаковым граничным условиям, что приводит к слиянию струй пламени в направлении центра секций.

На фиг. 4 показан вид сверху печи, демонстрирующий четыре иллюстративных отсека в масштабе печи (см. серые прямоугольники). Иллюстративный отсек 12 состоит из подгруппы из 18 находящихся на одной линии трубок, нагреваемых 2 рядами по 4 горелки одинаковой мощности, причем один конец W является стенкой, представляющей собой торцевую стенку 7, и второй конец S представляет собой плоскость 11 симметрии, находящуюся посередине полости между 2 секциями 10. Конфигурацию иллюстративного отсека 12 будут применять для моделирований, предназначенных для описания настоящего изобретения и представленного далее в соответствии с графическими материалами.

На фиг. 5a показано поле распределения температур в плоскости разреза, выполненного посередине горелок. Данное поле является результатом численного моделирования, применяемого в отношении иллюстративного отсека 12 по фиг. 4 с характеристиками схемы расположения горелок $B2B/B2W = 1,1$ и $B2B/B2W = 1,2$; оно иллюстрирует эффект слияния пламени в направлении центра отсека, возникающий из-за отклонения струй пламени от крайних горелок 8a, находящихся вблизи стенки 7, и крайних горелок 8b, находящихся вблизи плоскости 11 симметрии.

Из-за данного свойства слияния струй пламени нет однородности в количестве теплоты, передаваемой к трубкам, трубки в середине иллюстративного отсека достигают более высокой температуры поверхностного слоя, как показано на фиг. 5b, которая представляет собой профиль максимальной температуры трубки, рассчитанный с помощью модели 3-D CFD; данное явно иллюстрирует то, что теплопередача к трубкам не является однородной. Более высокая температура поверхностного слоя наблюдается для трубок, размещенных посередине иллюстративного отсека, причем разность между максимальным и минимальным значениями температуры поверхностного слоя внутри данного иллюстративного отсека достигает 30°C.

Как указано выше, настоящее изобретение направлено на регулирование неоднородностей теплового потока в иллюстративном отсеке с тем, чтобы регулировать тепловой поток на всем протяжении ряда и, наконец, улучшить контроль теплового потока во всей печи. Для достижения данного результата настоящее изобретение направлено на ограничение слияния струй пламени благодаря конструктивному исполнению с улучшенным расположением горелок вдоль рядов горелок одинаковой мощности.

Для оптимизации схем расположения горелок были выполнены численные моделирования динамических характеристик различных SMR-установок.

Как уже упоминалось, схема расположения горелок вдоль ряда может быть определена с помощью трех значений расстояния (в метрах) B2B, B2W и B2S. Обозначенные на фиг. 6 расстояния соответствуют следующему:

B2B представляет собой расстояние между двумя смежными горелками в иллюстративном отсеке;

B2W представляет собой расстояние между торцевой стенкой 7 и горелкой 8a в иллюстративном отсеке;

B2S представляет собой расстояние между плоскостью 11 симметрии и горелкой 8b в иллюстративном отсеке.

Три значения расстояния, перечисленные выше, были определены как имеющие большое значение и характерные для ряда, точнее в виде двух соотношений B2B/B2S и B2B/B2W.

Примечание: в зависимости от своего размера и геометрии печь может быть "представлена" раз-

личными иллюстративными отсеками, как можно сделать вывод из фиг. 4; отсек может быть охарактеризован парой следующих соотношений:

($B2B/B2W$ и $B2B/B2S$) для отсека, находящегося вблизи торцевой стенки 7 с одной стороны и плоскости симметрии с другой стороны;

($B2B/B2S$ и $B2B/B2W$) для средней секции с плоскостями 11 симметрии с обоих концов;

($B2B/B2W$ и $B2B/B2W$) для секции с торцевыми стенками 7 с обоих концов в случае небольшого риформера лишь с одной секцией.

На трех следующих фигурах представлены различные варианты распределения горелок в иллюстративном отсеке 12, в отношении которых были применены моделирования и получены результаты.

На фиг. 7 показаны 3 различных варианта распределения 4 горелок отсека 12 по фиг. 6; в каждом случае указано два соотношения $B2B/B2S$ и $B2B/B2W$, и горелки представлены в виде ромба, треугольника или квадрата в соответствии с распределением. Те же самые формы будут использоваться для дифференциации 3 случаев в следующих связанных фигурах. Для трех случаев распределение 18 трубок остается в основном таким же.

На фиг. 8 показано поле распределения температур в плоскости разреза, выполненного через середину горелок для тех же 3 случаев.

Результаты численного моделирования показывают, что струи пламени от крайних горелок 8a и 8b более или менее отклоняются в зависимости от распределения горелок. Более правильная форма наблюдается для упоминаемого случая в виде треугольников при соотношениях $B2B/B2S = B2B/B2W = 1,8$; максимальный эффект слияния наблюдается для упоминаемого случая в виде квадратов при $B2B/B2S = 1,2$ и $B2B/B2W = 1,1$, при этом струи пламени крайних горелок отклоняются в направлении середины отсека; упоминаемый случай в виде ромбов при $B2B/B2S = 2,1$ и $B2B/B2W = 1,9$ является промежуточным со слегка видимым эффектом отклонения в направлении смежного отсека с повышением температуры текучей среды, находящейся вблизи стороны симметрии.

На фиг. 9 показан профиль максимальной температуры поверхностного слоя трубки вдоль ряда трубок для тех же 3 случаев. Сравнение трех профилей подтверждает наблюдения, выполненные для форм пламени: профиль температуры трубок, упоминаемый в виде треугольников, является более равномерным и правильным, причем диапазон отклонения температуры между самой горячей и самой холодной трубами составляет приблизительно 10°C , при этом профиль температуры трубок, упоминаемый в виде ромбов, является правильным (без максимума в центре отсека), но неравномерным (температура является в целом выше со стороны симметрии, чем со стороны стенки) из-за неравных соотношений $B2B/B2S = 2,1$ и $B2B/B2W = 1,9$, что обеспечивает диапазон отклонения температуры, составляющий 28°C , и профиль температуры трубок, упоминаемый в виде квадратов, представляет собой профиль в форме заметной параболы с максимумом в центре отсека и самым высоким диапазоном отклонения температуры, составляющим 30°C .

Для поиска общих правил проектирования было проведено параметрическое исследование на 14 примерах стандартных отсеков с различными значениями расстояний $B2B$, $B2S$ и $B2W$ и различным количеством трубок и горелок с тем, чтобы представить большое разнообразие возможных конструктивных исполнений. Данное исследование позволило определить наилучшие соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$, что, таким образом, позволило определить лучшие правила проектирования, причем благодаря данному исследованию также необходимо было оценить прирост в отношении обеспечения однородности температуры между трубками.

На фиг. 10 показана таблица, в которой резюмируется исследование, представленное в данном документе выше, с воздействием расположения горелок на среднее квадратичное (также известное как среднеквадратичное значение RMS) профиля температуры трубки в пределах различных стандартных отсеков. Среднее квадратичное максимальной температуры трубки будет определять величину дисперсии значений температуры трубок в пределах стандартного отсека.

Поскольку основной целью настоящего изобретения является решение проблемы неравномерности значений температуры вдоль ряда трубок, это означает, что лучшими примерами являются таковые, в которых обеспечивается низкое значение RMS, насколько это возможно; в представленных примерах самые высокие значения RMS составляют приблизительно 10, при этом нижние значения близки к 1°C . Такое низкое стандартное отклонение (близкое к 0) указывает на то, что трубки имеют аналогичные значения температуры, при этом высокое стандартное отклонение - близкое к 10 или даже больше - указывает на то, что значения температуры трубки распределяются в более широком диапазоне значений. Таким образом, чем ниже RMS максимальной температуры трубок в отсеке, тем лучше характеристики производительности печи парового риформинга метана.

На основании проведенного исследования были определены правила для соотношений горелок, указанные далее:

с целью обеспечения значения RMS ниже 5 соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ должны составлять более 1,3;

при соотношениях $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ выше 1,6 ожидается, что значение RMS будет ниже 3;

кроме того, если соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ выше 1,8, то ожидается, что значения RMS

обычно будут ниже 2. Другая тенденция, которая обнаруживается в данных примерах, заключается в том, что RMS температуры трубок в иллюстративном отсеке снижается, когда соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ все более и более похожи, предпочтительно равны. Данная тенденция наблюдается для всех значений соотношений.

Наконец, количество трубок или горелок в иллюстративных отсеках не влияет на правила для соотношений. Таким образом, посредством применения правил для соотношений расстояний между горелками согласно настоящему изобретению при проектировании печи можно снизить количество горелок в секции при надлежащем обеспечении однородности теплопередачи от горелок к трубкам.

На основании вышеприведенных результатов предложили правила проектирования, которые необходимо применять в отношении расположения горелок на всем протяжении рядов с целью получения более однородных значений температуры трубок на всем протяжении рядов. Благодаря соблюдению данных правил можно избежать перегрева трубок, зачастую наблюдаемого в центре секций; таким образом, можно уменьшить возможность выхода из строя, замены трубок и временного прекращения работы.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Печь (1) для осуществления эндотермического способа, имеющая две продольные стенки печи и две торцевые стенки (7) и содержащая трубки (2), содержащие катализатор для конверсии газообразного сырья, причем трубки расположены внутри печи рядами параллельно указанным продольным стенкам печи, при этом горелки (3) установлены рядами между рядами трубок и между трубками и указанными продольными стенками печи параллельно рядам трубок так, что между смежными рядами трубок расположен ряд горелок, при этом ряды (5) горелок и ряды (9) трубок, где направление рядов определяет ось X, заканчиваются указанными торцевыми стенками, причем ряды трубок и ряды горелок разделены плоскостями (11) симметрии на секции (10), при этом расстояние в каждом ряду от горелки (8a), ближайшей к торцевой стенке (7), до указанной торцевой стенки (7) составляет $B2W$, расстояние между любыми двумя смежными горелками в общей секции составляет $B2B$ и половина расстояния в каждом ряду от горелки (8b), ближайшей к плоскости (11) симметрии, до горелки (8b), ближайшей к этой же плоскости (11) симметрии, смежной секции составляет $B2S$, отличающаяся тем, что горелки в рядах расположены таким образом, что соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ составляют более 1,3 с ограничением, таким образом, возникновения явления слияния пламени и значительным снижением среднего квадратичного профиля температуры трубки.

2. Печь по п.1, отличающаяся тем, что соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ составляют более 1,6 и предпочтительно более 1,8.

3. Печь по п.2, отличающаяся тем, что соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ равны.

4. Печь по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что горелки установлены на потолке печи.

5. Печь по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что горелки установлены на полу печи и обеспечивают пламя, направленное вертикально вверх.

6. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что представляет собой печь парового риформинга метана.

7. Эндотермический способ, подлежащий осуществлению в печи (1), имеющей две продольные стенки печи и две торцевые стенки (7) и содержащей трубки (2) и горелки (3), причем указанный способ включает

введение газообразного сырья и пара в трубки, содержащие катализатор для конверсии газообразного сырья, при этом трубки расположены внутри печи рядами параллельно указанным продольным стенкам печи,

сжигание топлива с помощью воздуха в горелках, которые установлены рядами между рядами трубок и между трубками и указанными продольными стенками печи параллельно рядам трубок так, что между смежными рядами трубок расположен ряд горелок,

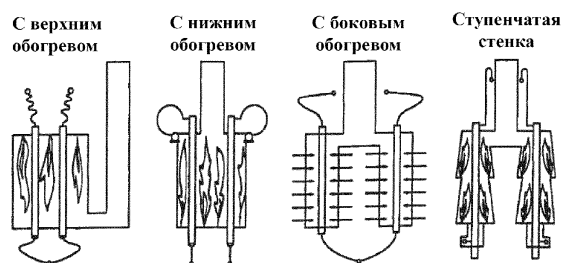
сброс продуктов, образовавшихся в нижнем конце трубок,

при этом ряды (5) горелок и ряды (9) трубок, где направление рядов определяет ось X, заканчиваются указанными торцевыми стенками, причем ряды трубок и ряды горелок разделены плоскостями (11) симметрии на секции (10), при этом расстояние в каждом ряду от горелки (8a), ближайшей к торцевой стенке (7), до указанной торцевой стенки (7) составляет $B2W$, расстояние между любыми двумя смежными горелками в секции составляет $B2B$ и половина расстояния в каждом ряду от горелки (8b), ближайшей к плоскости (11) симметрии, до горелки (8b), ближайшей к этой же плоскости (11) симметрии, смежной секции, составляет $B2S$, отличающийся тем, что горелки в рядах расположены таким образом, что соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ составляют более 1,3 с ограничением, таким образом, возникновения явления слияния пламени и значительным снижением среднего квадратичного профиля температуры трубки.

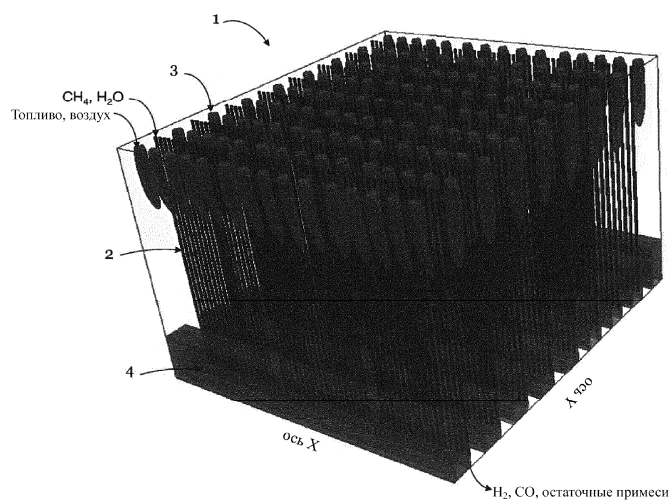
8. Способ по п.7, отличающийся тем, что предназначен для парового риформинга метана.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что соотношения $B2B/B2W$ и $B2B/B2S$ составляют более 1,6 и предпочтительно более 1,8.

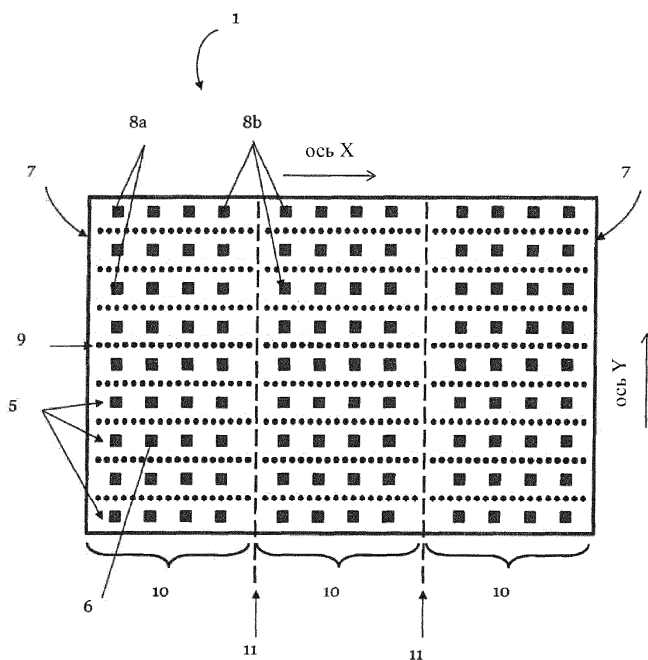
10. Способ по п.9, отличающийся тем, что соотношения $V2B/V2W$ и $V2B/V2S$ равны.
11. Способ по любому из пп.7-10, отличающийся тем, что печь представляет собой печь с верхним обогревом.
12. Способ по любому из пп.7-10, отличающийся тем, что подлежит осуществлению в печи с нижним обогревом.



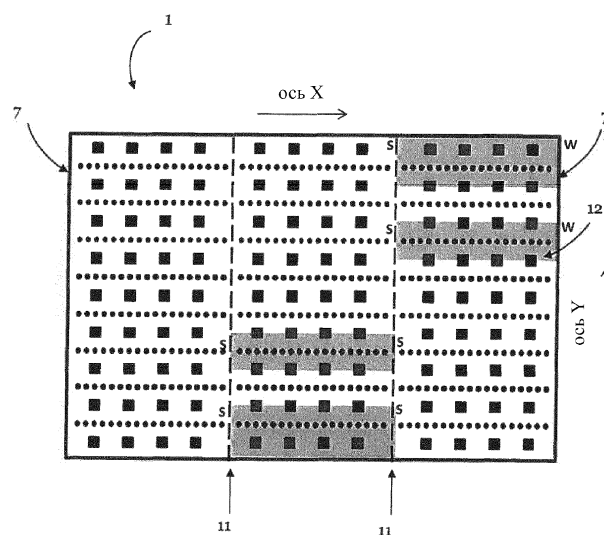
Фиг. 1



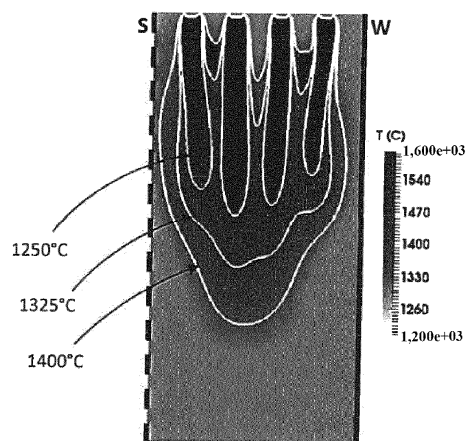
Фиг. 2



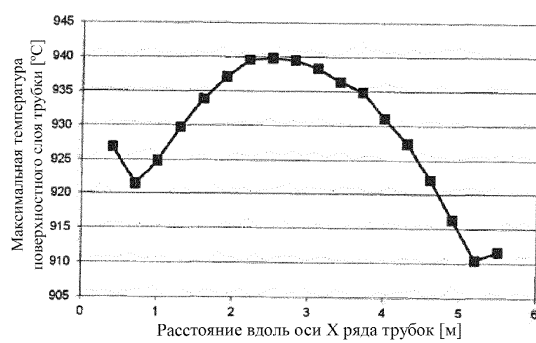
Фиг. 3



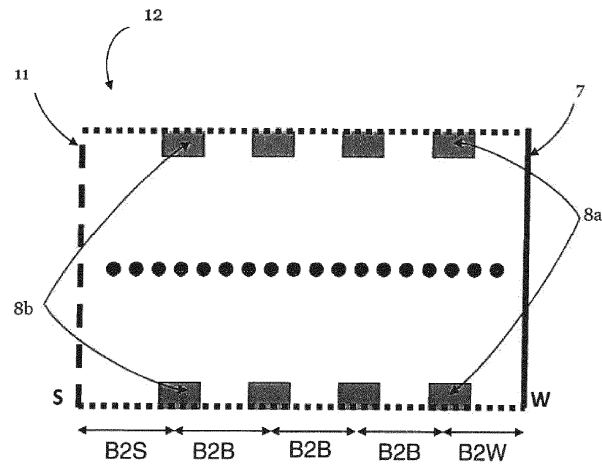
Фиг. 4



Фиг. 5a



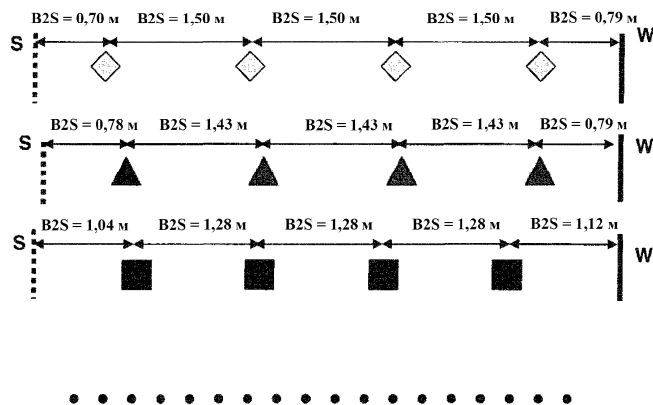
Фиг. 5b



Фиг. 6

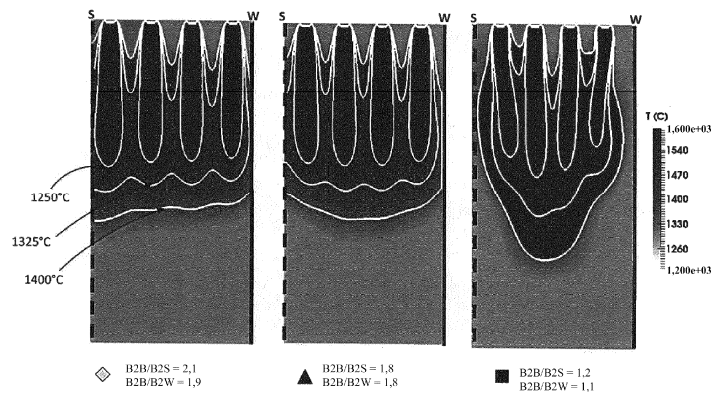
• трубки

◇ B2B/B2S = 2,1
B2B/B2W = 1,9 ▲ B2B/B2S = 1,8
B2B/B2W = 1,8 ■ B2B/B2S = 1,2
B2B/B2W = 1,1

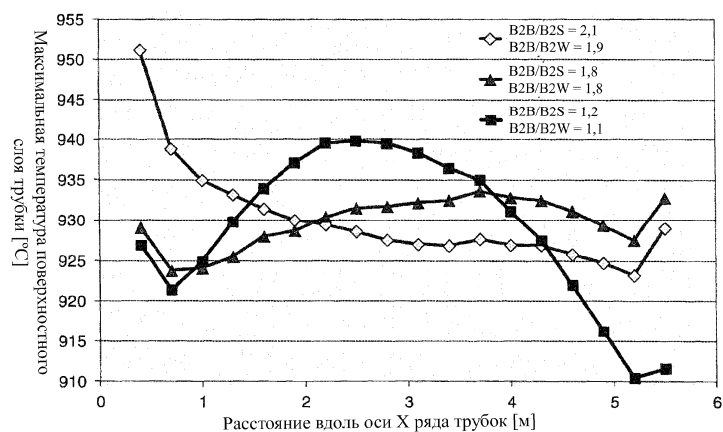


ось X

Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

Количество горелок на отсек	Количество трубок на отсек	B2B/B2W	B2B/B2S	RMS T [°C]
4	15	2,00	2,00	1,26
4	15	1,93	1,93	1,32
5	17	2,00	2,00	1,61
5	16	2,00	2,00	1,99
4	15	1,84	1,93	1,93
5	18	1,99	2,00	2,13
5	16	1,60	1,60	2,26
4	16	1,60	1,60	2,42
5	16	1,40	1,40	3,33
4	15	1,50	2,00	4,73
5	16	1,10	1,10	5,17
5	18	1,43	1,61	5,58
4	18	1,13	1,23	9,55
5	18	1,02	1,12	10,88

Фиг. 10



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2