

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **047372**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.07.11

(21) Номер заявки
202392080

(22) Дата подачи заявки
2022.01.27

(51) Int. Cl. **B01J 8/00** (2006.01)
B01J 8/02 (2006.01)
B01J 8/06 (2006.01)

(54) **КАТАЛИТИЧЕСКИЙ РЕАКТОР-ТЕПЛООБМЕННИК СО СПИРАЛЕВИДНЫМ ПОТОКОМ**

(31) **21153969.7**

(32) **2021.01.28**

(33) **EP**

(43) **2023.09.28**

(86) **PCT/EP2022/051865**

(87) **WO 2022/162051 2022.08.04**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ТОПСЁЭ А/С (DK)

(72) Изобретатель:
**Хансен Андерс Хельбо, Бьярклев
Кристиан, Боз Михаэль (DK)**

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(56) US-A-4113441
WO-A1-2006117572
US-A-3400758
US-A-3731733
EP-A1-1668306
WO-A1-2013004254
US-A1-2002085969
US-A1-2008021242
EP-A2-1048343
EP-A1-1080780
US-A-3366461
JP-A-H09165202

(57) Изобретение относится к каталитическому реактору-теплообменнику для осуществления эндотермических или экзотермических каталитических реакций по меньшей мере с одним спиралевидным восходящим потоком вокруг теплообменных труб и центральной трубы для смешанного газа.

B1

047372

047372

B1

Изобретение относится к каталитическому реактору-теплообменнику для осуществления эндотермических или экзотермических каталитических реакций. В частности, настоящее изобретение относится к каталитическому реактору-теплообменнику, в котором, по меньшей мере, часть потока текучей среды является спиралевидной, что улучшает и уравнивает теплопередачу. Каталитический реактор-теплообменник может быть частью крупного производства, такого как химическое производство.

Каталитические реакторы для осуществления эндотермических или экзотермических реакций хорошо известны в данной области техники; конкретными примерами являются реакторы для эндотермического парового риформинга углеводородов и реакторы для осуществления экзотермических реакций синтеза метанола (при этом предмет изобретения не ограничен указанными реакциями). Реакции, как правило, выполняются в заполненных соответствующим твердым катализатором трубах, через которые при повышенном давлении пропускают поток технологического газа, содержащий реагенты. Конструкция реактора содержит множество труб. Трубы идут параллельно большой оси каталитического реактора, а теплоноситель снаружи труб нагревает или охлаждает их. Твердый катализатор внутри труб образует слой катализатора, в котором происходят необходимые химические реакции. Катализатор может быть представлен в виде твердых частиц или в виде структуры с покрытием, например, в виде тонкого слоя, закрепленного на внутренней стенке труб в реакторах парового риформинга, и/или в виде тонкого слоя, нанесенного на такие конструкции, как металлические конструкции внутри труб.

В другой конфигурации реактора, включающей в себя множество труб, частицы твердого катализатора могут быть расположены снаружи труб, далее по тексту также именуемых теплообменными трубами, в то время как теплоноситель пропускается внутри. Твердый катализатор снаружи теплообменных труб обеспечивает слой катализатора, в котором происходят необходимые химические реакции.

В данной области техники известны другие типы теплообменных труб и реакторов-теплообменников. Далее по тексту пояснение сути изобретения приводится применительно к каталитическим реакторам-теплообменникам и теплообменным трубам с катализаторами, расположенными внутри труб, преимущественно с вертикальным расположением труб и реактора. Однако предмет изобретения не ограничивается указанными типами труб и реакторов. Термины "каталитический реактор", "реактор-теплообменник" и "реактор" являются взаимозаменяемыми. "Слой катализатора" обозначает объем катализатора, образующий указанный слой и находящийся внутри теплообменных труб. Термины "теплообменные трубы" и "трубы" являются взаимозаменяемыми и включают трубы, находящиеся в контакте с катализатором, а также с теплоносителем для целей проведения каталитических реакций.

Технологический процесс и реактор, в рамках которых катализатор опосредованно находится в косвенном контакте с теплоносителем известны из EP0271299. Данный источник содержит описание реактора и способа, объединяющего в себе парового риформинга и автотермического риформинга. Зона парового риформинга, расположенная в нижней части реактора, содержит ряд труб с катализатором, расположенным внутри, в то время как в верхней части реактора катализатор автотермического риформинга находится снаружи труб парового риформинга. EP-A-1106570 раскрывает способ парового риформинга в параллельно соединенных трубчатых риформинг-установках (реакторах), состоящих из нескольких труб парового риформинга с прямым теплообменом. Катализатор расположен в одном реакторе снаружи труб парового риформинга и внутри труб парового риформинга в другом реакторе.

WO0156690 описывает реактор-теплообменник, содержащий внешнюю оболочку, оборудованную отверстиями для входа и выхода технологического газа, множество реакторных труб, закрепленных в своей верхней части, коллекторным блоком для подачи технологического газа из впускного отверстия коллектора к верхней части труб реактора, указанный блок содержит два или более основных впускных коллектора, расположенных поперек верхней части кожуха, при этом каждый первичный впускной коллектор имеет глубину, превышающую его ширину, в результате чего указанные трубы относительно кожуха прямо или косвенно поддерживаются указанными первичными впускными коллекторами.

EP 1048343 A раскрывает реактор-теплообменник, в состав которого входит множество труб, содержащих катализатор, секция кожуха, через которую пропускают теплоноситель для обеспечения теплообмена с реакционной жидкостью в указанных трубах, и верхнюю и нижнюю трубные решетки, при этом верхние концы указанных труб соединены с указанной верхней трубной решеткой посредством первых трубных компенсаторов, закрепленных на верхней стороне указанной верхней трубной решетки, а нижние концы указанных труб закреплены непосредственно на плавучей нижней трубной решетке, при этом образуется плавучая камера, которая разделена указанной нижней трубной решеткой и внутренней торцевой пластиной (внутренней головкой), соединенной с ее нижней стороной, и имеет отверстие в нижней части, причем указанное отверстие соединено посредством второго компенсатора с выпускным отверстием со стороны трубной части, ведущим вовне из реактора.

WO2006117572 описывает установку для парового риформинга углеводородов, включающую в себя установку риформинга-теплообменник со множеством вертикальных заполненных катализатором труб, через которые может проходить газовая смесь, содержащая углеводород и пар, и к которым посредством теплоносителя может передаваться тепло, которое обтекает внешние поверхности труб, причем внутри установки риформинга предусмотрены одна или более спиралевидных перегородок, так что теплоноситель через установку риформинга проходит по спирали. Также описан процесс парового ри-

форминга углеводородов с использованием аппарата.

US3400758 раскрывает кожух отрубный теплообменник, в котором трубный теплоноситель течет по трубам по спирали, а перегородки выполнены в виде расположенных в продольном направлении разбитых на сегменты пластинчатых элементов с поверхностями управления потоком, которые перпендикулярны осям теплообменника и упрощают монтаж и демонтаж труб.

US4357991 описывает теплообменник, конструкция которого предусматривает наличие системы перегородок Disk-and-Donut, в рамках которой трубы расположены в виде комплекта концентрических колец. Каждое кольцо в составе комплекта содержит то же количество трубок, что и любое другое кольцо комплекта, а трубы в составе каждого кольца расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Каждая труба в составе кольца расположена по окружности между двумя соседними трубами соседнего кольца и отделена от каждой из двух соседних труб в соседнем кольце расстоянием перемычки h . Расстояние h является постоянным для всех труб в комплекте за счет изменения радиального расстояния между кольцами, а расстояние между любыми двумя соседними трубками в любом кольце набора должно быть больше или равно $2h$. Зазор h между перемычками является постоянным и определяется как минимальное проходное сечение между соседними кольцами, и, следовательно, скорость массового потока через пучок труб постоянна.

US3731733 раскрывает цилиндрическую оболочку с центральной частью в виде труб, между которыми течет первая жидкость по, по меньшей мере, двум параллельным перекрывающимся псевдоспиралевидным направлениям, которые полностью занимают пространство между оболочкой и центральной частью. Направления движения обусловлены вертикальными радиальными перегородками и горизонтальными перегородками. Перегородки попарно соединены между собой радиальными перегородками (винтовая двухпоточная перегородка) или по три (винтовая трехпоточная перегородка) и имеют состоящие из сегментов вырезы, расположенные в шахматном порядке друг относительно друга. Кроме того, в пространстве между оболочкой и центральной частью, которая задействуется вместе с путями для прохождения потока, предусмотрен ряд параллельных труб, по которым течет вторая жидкость, при этом указанные трубы проходят через перегородки. Данный теплообменник обеспечивает не только более высокую тепловую производительность в результате направления жидкости более эффективным образом с более высокой производительностью, но и обеспечивает значительное повышение механической эффективности за счет уменьшения количества труб в составе пучков труб.

EP1668306 описывает теплообменник в исполнении с перегородками в форме квадранта, расположенными под углом к продольной оси кожуха, для направления поперечного потока жидкости по спирали с сохранением существенно равномерной скорости поперечного потока.

Несмотря на известный уровень техники, сохраняется потребность в каталитическом реакторе-теплообменнике, который обеспечивает более дешевое решение задачи использования отходящего тепла процесса первичного риформинга для дополнительного риформинга. Кроме того, существует потребность в каталитическом реакторе-теплообменнике с более низкой себестоимостью производства, чем в случае с существующими конструкциями. Также существует потребность в каталитическом реакторе-теплообменнике, который позволяет снизить количество материала, необходимого для теплообменных труб.

Целью настоящего изобретения является создание каталитического реактора-теплообменника, который решает указанные проблемы и, как поясняется ниже, имеет ряд дополнительных преимуществ.

Это достигается с помощью каталитического реактора-теплообменника по настоящему изобретению, как описано ниже в описании и формуле изобретения. Соответственно, настоящее изобретение содержит каталитический реактор-теплообменник со спиралевидным потоком со стороны межтрубного пространства теплообменных труб, который предназначен для обеспечения почти одинаковой теплопередачи ко всем теплообменным трубам, т.е. для балансировки теплопередачи, поскольку это необходимо для оптимального протекания каталитической химической реакции.

Обеспечить одинаковую теплопередачу ко всем теплообменным трубам сложно, поскольку поток стремится преимущественно пройти наиболее короткое расстояние, восходя по спирали в районе центра в каталитическом реакторе-теплообменнике (другими словами, по меньшему диаметру). В результате трубки, расположенные ближе к центру, получают слишком много тепла, а трубки у внешней оболочки - слишком мало.

Каталитический реактор-теплообменник по настоящему изобретению выполнен в виде кожухотрубного теплообменника с катализатором в теплообменных трубах. Он имеет однострубую конструкцию, в которой каждая теплообменная труба представляет собой одиночную трубу (в отличие, например, от более сложной концентрической двойной трубы). В варианте осуществления он имеет ступенчатую перегородку, зигзагообразную структуру труб, пластины ограничения потока вблизи внешней периферии пучка труб и центральную трубу, заменяющую внешнюю линию обратного потока.

Путь потока в каталитическом реакторе-теплообменнике выглядит следующим образом: технологический газ поступает в верхнюю часть теплообменного трубного пучка, где он проходит через расположенный в трубах катализатор. На данном этапе прошедший риформинг газ смешивается в нижней части реактора с более горячим теплообменным газом (например, газом в рамках автотермического рифор-

минга), что повышает его температуру. Смешанный газ затем проходит через межтрубное пространство теплообменных труб, в одном из вариантов осуществления в виде двух спиралевидных потоков, где он передает тепло трубам и, таким образом, происходит эндотермический процесс внутри труб, прежде чем он будет направлен в центр каталитического реактора-теплообменника вверх (под трубной решеткой) и выводится вниз и из реактора через центральную трубу для смешанного газа.

Однотрубная конструкция по настоящему изобретению снижает стоимость по сравнению с современными конструкциями каталитических реакторов-теплообменников. Кроме того, простая геометрия труб позволяет использовать гораздо более узкие теплообменные трубы (малого диаметра), чем это возможно в случае с другими типами известных реакторов-теплообменников. Это уменьшает количество материала, необходимого для теплообменных труб. По сравнению с другими решениями спиралевидный поток в каталитическом реакторе-теплообменнике обеспечивает более компактную конструкцию реактора с малым перепадом давления для той же нагрузки. В одном варианте осуществления с перегородками, расположенными в виде винтовой лестницы, конструкция лестницы позволяет предусмотреть систему перегородок в виде устанавливаемых прямых металлических листов, что упрощает процесс изготовления. Задействование ряда небольших шагов на оборот уменьшает перепад давления по сравнению с несколькими большими шагами. Вариант с ступенчатой конструкцией позволяет изменять расстояние до перегородки по длине пучка теплообменных труб. Он может использоваться для поддержания или увеличения скорости прохождения потока смешанного газа по мере охлаждения потока вдоль пучка труб путем постепенного уменьшения расстояния между перегородками, тем самым уменьшая площадь поперечного сечения канала потока. При этом настоящее изобретение также эффективно и с фиксированным расстоянием между перегородками. В варианте осуществления с зигзагообразным расположением теплообменных труб и/или пластин ограничения потока, на внешней стороне пучка теплообменных труб, а также пластины ограничения потока выравнивают поток, что позволяет уменьшить интенсивность теплового потока от трубы к трубе. Центральная труба для смешанного газа забирает смешанный газ из верхней части каталитического реактора-теплообменника и направляет смешанный газ в нижнюю часть и наружу реактора. Это устраняет необходимость в наличии внешней линии обратной подачи, что экономит место и деньги. В одном варианте осуществления для удержания перегородок на месте используют внешнюю и/или внутреннюю оболочки, а не стяжные стержни. В варианте осуществления с внутренней оболочкой внутренняя оболочка, расположенная вокруг центральной трубы для смешанного газа, представлена в перфорированном исполнении, что позволяет исключить тепловой поток во втором контуре в направлении впускного отверстия центральной трубы для смешанного газа в пространстве между внутренней оболочкой и центральной трубой для смешанного газа. Перфорация обеспечивает постоянное перемешивание/обмен газа, проходящего через пространство между внутренней оболочкой и центральной трубой для смешанного газа, с газом, проходящим в виде спиралевидного потока. Таким образом, весь смешанный газ подается через пучок теплообменных труб, а потребность в сальниковой коробке между внутренней оболочкой и центральной трубой для смешанного газа отсутствует или уменьшается.

В одном варианте осуществления изобретения каталитический реактор-теплообменник для осуществления эндотермических или экзотермических каталитических реакций содержит кожух с цилиндрическим сечением. Цилиндрическая секция представляет собой основную часть каталитического реактора-теплообменника и в большинстве случаев ориентирована вертикально. Внутри кожуха расположено множество вертикальных теплообменных труб. Теплообменные трубы по меньшей мере частично заполнены катализатором, который может быть представлен в виде гранул любой формы, в виде катализируемых твердых структур и/или каталитического покрытия на внутренней стороне теплообменных труб, как указано выше. По заполненным катализатором теплообменным трубам технологический газ может проходить от верхнего конца теплообменных труб, через трубы и к нижнему концу теплообменных труб. Каталитический реактор-теплообменник дополнительно содержит, по меньшей мере, одно верхнее впускное отверстие для технологического газа, обеспечивающее прохождение потока технологического газа к верхнему концу теплообменных труб. Верхний впуск для технологического газа может быть расположен в верхней части цилиндрической обечайки или выше, в верхней части обечайки. Кроме того, каталитический реактор-теплообменник содержит, по меньшей мере, одно нижнее впускное отверстие для теплообменного газа и, по меньшей мере, одно нижнее выпускное отверстие для смешанного газа, оба из которых могут быть устроены в оболочке под теплообменными трубами. Верхняя трубная решетка расположена в верхней части кожуха либо вверху цилиндрической части или над ней. Верхнюю трубную решетку используют в качестве основания для множества теплообменных труб. Основание может быть свободно скользящим основанием, которое поддерживает теплообменные трубы только в горизонтальном направлении, но при этом допускает их вертикальное перемещение; либо это может быть неподвижное основание для теплообменных труб с использованием, например, сварки, резьбы или любого известного неподвижного крепления. Примером скользящего основания являются отверстия в верхней трубной решетке, диаметр которых немного больше наружного диаметра теплообменных труб, что позволяет теплообменным трубам двигаться вертикально, но почти полностью исключает их горизонтальное перемещение относительно верхней трубной решетки, еще одним примером может служить сальниковая ко-

робка. Внутри кожуха под верхней трубной решеткой расположено множество перегородок. Перегородки имеют отверстия, приспособленные для установки множества теплообменных труб. Как и верхняя трубная решетка, основание перегородки теплообменных труб может быть неподвижным или подвижным, либо некоторые основания могут быть неподвижными, а другие подвижными. Перегородки обеспечивают прохождение смешанного газа, содержащего теплообменный газ из нижнего впускного отверстия для теплообменного газа, и газа, прошедшего риформинг и выходящего из нижнего конца теплообменных труб, по меньшей мере, в одном спиралевидном восходящем потоке внутри кожуха и снаружи всех теплообменных труб. Конструкция перегородок и их расположение внутри кожуха и вокруг теплообменных трубок направляет смешанный газовый поток в виде, по меньшей мере, одного потока вверх по спирали. Различные варианты осуществления данной компоновки и конструкции будут указаны ниже, при этом данный вариант осуществления не ограничивается одной единственной конструкцией и расположением перегородок, а также данный вариант осуществления охватывает один или несколько спиралевидных отдельных восходящих потоков внутри кожуха. Каталитический реактор-теплообменник дополнительно содержит центральную трубу для смешанного газа, расположенную вертикально в центре кожуха с верхним впускным концом и нижним выпускным концом. Центральная труба для смешанного газа обеспечивает прохождение смешанного газа от верха, по меньшей мере, одного спирального восходящего потока, примыкающего к нижней стороне верхней трубной решетки, к нижнему выпускному отверстию для смешанного газа. Соответственно, когда, по меньшей мере, один спиральный восходящий поток достигает нижней стороны верхней трубной решетки, он не в состоянии восходить далее по спирали; вместо этого он поступает в центральную трубу для смешанного газа через верхний впуск центральной трубы для смешанного газа. Из верхнего впуска смешанный газ проходит вниз через центральную трубу для смешанного газа и выходит из центральной трубы для смешанного газа через нижнюю выпускную часть. Таким образом, центр каталитического реактора-теплообменника, который не очень эффективен с точки зрения теплообмена в случае спиралевидного потока, используют для возвратного потока смешанного газа. В реакторах-теплообменниках известного уровня техники это обычно достигается с помощью внешней линии теплопередачи, которая является дорогостоящей и занимает много места, поскольку также должна иметь теплоизоляцию. Таким образом, каталитический реактор-теплообменник в соответствии с настоящим изобретением объединяет в себе преимущества спирального восходящего потока(-ов) вокруг теплообменных труб для улучшения и выравнивания теплообмена с описанными выше преимуществами центральной возвратной трубы.

В одном варианте осуществления изобретения, каталитический реактор-теплообменник по изобретению представляет собой каталитический реактор-теплообменник парового риформинга углеводородов. Еще в одном варианте осуществления изобретения множество перегородок расположена в виде, по меньшей мере, одной спирали., по меньшей мере, одна спираль предназначена для обеспечения указанного выше спиралевидного восходящего потока, при этом следует понимать, что изобретение не ограничивается этим вариантом осуществления, поскольку другие варианты расположения множества перегородок могут обеспечивать восходящий спиральный поток(-и), например, горизонтальные перегородки с наклонными поверхностями (например, пропеллеры) и другие устройства.

В одном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, один спиралевидный восходящий поток огибает центральную трубу для смешанного газа, а перегородки содержат наборы горизонтальных и вертикальных сегментов, расположенных в виде винтовой лестницы. При прохождении газовой смеси из нижней части кожуха между теплообменными трубами поток достигает перегородок, которые расположены в виде винтовой лестницы, и поэтому вынужден восходящим спиралевидным движением проходить из нижней части кожуха в ее верхнюю часть; до того, как он дойдет до нижней стороны верхней трубной решетки и попадет внутрь, а также в верхний впуск центральной трубы для смешанного газа. Вариант осуществления с перегородками, состоящими из комплектов горизонтальных и вертикальных сегментов, имеет, среди прочего, то преимущество, поскольку перегородки легко изготавливаются, имеют низкую стоимость, а также упрощается монтаж и установка теплообменных труб и перегородок.

В одном варианте осуществления изобретения, множество перегородок расположены и приспособлены для того, чтобы обеспечить восхождение от одного до четырех спиралевидных потоков, предпочтительно двух спиралевидных восходящих потоков. Например, если с учетом технологического процесса и других предварительных условий предпочтительны два спиралевидных восходящих потока, множество перегородок может быть расположено в виде двух винтовых лестниц, причем нижний конец одной винтовой лестницы расположен с поворотом на 180° по отношению к нижнему концу другой спиральной лестницы.

В одном варианте осуществления изобретения, полный поворот на 360° по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока включает от двух до шестнадцати комплектов перегородок, предпочтительно восемь комплектов перегородок. Количество перегородок, выбранных для полного поворота на 360° , зависит от конкретного каталитического реактора-теплообменника и конкретного технологического процесса, а также может варьироваться в зависимости от требований к материалам и стоимости строительства, перепадов давления, теплопередачи и других параметров.

В одном варианте осуществления изобретения, вертикальное расстояние между перегородками меньше в верхней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока, чем в нижней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока. В нижней части кожуха газовая смесь относительно горячая и, соответственно, ее плотность относительно низкая; по мере того как смешанный газ проходит вверх через реактор в рамках теплового обмена с теплообменными трубами, смешанный газ охлаждается благодаря эндотермической реакции внутри труб, и, соответственно, плотность увеличивается. Для того, чтобы это компенсировать, вертикальное расстояние между перегородками может уменьшаться вверх по реактору, стремясь, таким образом, выровнять и сохранить желаемый уровень теплообмена. В одном варианте осуществления изобретения применительно к указанному выше вертикальное расстояние между перегородками постепенно уменьшается от нижней части меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока до верхней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока; т.е. от нижней части теплообменных труб к верхней части теплообменных труб. В другом варианте осуществления изобретения вертикальное расстояние между верхними вертикально прилегающими друг к другу перегородками составляет менее 500 мм, а вертикальное расстояние между нижними вертикально прилегающими друг к другу перегородками превышает 600 мм. Например, в случае, когда перегородки устроены по принципу лестницы, расстояние между самой верхней ступенью и ступенью, которая вертикально расположена под ней, составляет менее 500 мм, а расстояние между самой нижней ступенью и ступенью, которая вертикально расположена под ней, превышает 600 мм. Конкретные расстояния могут варьироваться в зависимости от конкретных технологических параметров и конкретного каталитического реактора-теплообменника, которые различаются в каждом отдельном случае и от заказчика к заказчику.

В одном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, один спиралевидный восходящий поток совершает от одного до восьми полных поворотов на 360° от нижней части к верхней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока. Таким образом, описанная множество перегородок устроена так, чтобы ограничивать и обеспечивать подачу восходящего потока смешанного газа, по меньшей мере, за один - восемь полных оборотов на 360° от нижнего конца теплообменных труб к верхнему концу теплообменных труб, где поток смешанного газа встречается с нижней стороной трубной решетки и поступает внутрь и в верхнее впускное отверстие центральной трубы для смешанного газа. Как указано выше, этого можно добиться за счет осуществления различных конструкций и расположения перегородок, например, конструкции в виде лестницы. Сколько полных оборотов на 360° совершает смешанный газ, по меньшей мере, в рамках одного спиралевидного восходящего потока, опять же зависит от конкретных технологических параметров и рассматриваемого реактора-теплообменника, как и количество спиралевидных восходящих потоков, на которое рассчитан каталитический реактор-теплообменник.

Для того, чтобы еще больше выровнять теплообмен по горизонтальному направлению реактора, в одном варианте осуществления изобретения расстояние между вертикальными теплообменными трубами на минимальном удалении от центральной трубы для смешанного газа меньше, чем по периметру кожуха. Поскольку смешанный газовый поток совершает спиралевидное восходящее движение, газ будет стремиться "пройти кратчайшее расстояние" вблизи центра реактора. Для того, чтобы устранить данную проблему и, соответственно, выровнять теплообмен всех теплообменных труб, независимо от того, расположены ли они вблизи центра или по периметру кожуха, расстояние между трубами вблизи центра относительно меньше, чем расстояние между трубами по периметру. Соответственно, еще в одном варианте осуществления настоящего изобретения расстояние между вертикальными теплообменными трубами уменьшается от периметра кожуха к центральной трубе для смешанного газа. Точнее сказать, в одном варианте осуществления изобретения расстояние между вертикальными теплообменными трубами составляет менее 50 мм вблизи центральной трубы для смешанного газа и более 100 мм по периметру кожуха.

Кроме того, для увеличения и выравнивания теплообмена между смешанным газом, проходящим снаружи теплообменных труб, и технологическим газом внутри теплообменных труб, в одном варианте осуществления изобретения, вертикальные теплообменные трубы расположены зигзагообразно, если смотреть в касательном направлении корпуса. Таким образом, если смотреть со стороны восходящего спиралевидного потока смешанного газа, не существует прямого, "легкого и быстрого" пути прохождения потока смешанного газа между теплообменными трубами. Поскольку теплообменные трубки расположены зигзагообразно по касательному направлению кожуха, спиралевидный поток смешанного газа всегда будет отклоняться, когда он встречается со следующей теплообменной трубкой на своем пути, тем самым увеличивая теплопередачу.

В одном варианте осуществления изобретения, каталитический реактор-теплообменник дополнительно содержит внутреннюю оболочку, расположенную вокруг центральной трубы для смешанного газа и примыкающую к ней. Внутренняя оболочка прикреплена к верхней трубной решетке и выступает в качестве основания, по меньшей мере, для некоторых из множества перегородок. Таким образом, внутренняя оболочка может выступать в качестве основания для ряда перегородок. В одном варианте осуще-

ствления изобретения, внутренняя оболочка является перфорированной. Наличие отверстий приводит к тому, что газ, который должен проходить в пространстве между центральной трубой для смешанного газа и внутренней оболочкой, смешивается со смешанным газом, сводя к минимуму тепловой перепад и устраняя или, по меньшей мере, сводя к минимуму потребность в сальниковой коробке. В еще одном варианте осуществления изобретения внутренняя оболочка содержит ограничители потока, такие как пластины ограничения потока, что позволяет предотвратить обход смешанным газом по касательной и, таким образом, повышает теплопередачу в реакторе.

В одном варианте осуществления изобретения, каталитический реактор-теплообменник дополнительно содержит внешнюю оболочку, расположенную внутри кожуха и примыкающую к нему, которая предназначена для использования в качестве основания, по меньшей мере, для некоторых перегородок. Поскольку кожухи выступают в качестве основания перегородок, перегородки, как описано выше, могут выступать в качестве оснований для теплообменных труб. В одном из вариантов осуществления внешняя оболочка может содержать пластины ограничения потока с эффектом, описанным ранее в случае с внутренней оболочкой.

В одном варианте осуществления изобретения, катализатор внутри теплообменных труб содержит частицы, а вертикальные теплообменные трубы имеют внутренний диаметр, который в 1 - 1,9 раза превышает наибольший внешний размер частицы катализатора. Таким образом, теплообменные трубы могут быть очень узкими, чтобы каждая из них служила основанием для лишь одной частицы катализатора в горизонтальном поперечном сечении. Это может быть целесообразно в плане теплообмена и каталитического процесса, и возможным или осуществимым благодаря простой геометрии труб (не двойных труб), позволяющей использовать гораздо более узкие трубы, чем те, что известны в данной области техники. Следует понимать, что также могут использоваться другие варианты осуществления, такие как вариант осуществления, причем вертикальные трубы теплопередачи имеют внутренний диаметр, который в 1-3,5 раза превышает наибольший внешний размер частицы катализатора.

Таким образом, реактор-теплообменник по настоящему изобретению позволяет получить гораздо более компактную конструкцию реактора, чем та, что известна в данной области техники, поскольку в нем предусмотрены повороты потока, меньший теневой эффект (где поток со стороны, которая противоположна той, с которой идет поток, за конструкциями, неоптимален) и обеспечена более равномерная передача тепла к трубам, в том числе за счет спиралевидного потока и центральной трубы для смешанного газа.

Признаки изобретения

1. Каталитический реактор-теплообменник для осуществления эндотермических или экзотермических каталитических реакций, содержащий кожух цилиндрического сечения;

множество вертикальных теплообменных труб, по меньшей мере, частично заполненных катализатором и расположенных внутри указанного кожуха, через которые технологический газ может проходить от верхнего конца теплообменных труб к нижнему концу теплообменных труб;

по меньшей мере, одно верхнее выпускное отверстие для технологического газа, обеспечивающее прохождение потока технологического газа к верхнему концу теплообменных труб;

по меньшей мере, одно нижнее выпускное отверстие для теплообменного газа;

по меньшей мере, одно нижнее выпускное отверстие для смешанного газа;

верхнюю трубную решетку, выполненную с возможностью использования в качестве основания для множества теплообменных труб;

множество перегородок, расположенных внутри кожуха под верхней трубной решеткой, с отверстиями, выполненными с возможностью использования в качестве основания для теплообменных труб и выполненными с возможностью обеспечения прохождения потока смешанного газа, содержащего теплообменный газ, из нижнего выпускного отверстия для теплообменного газа, и газа прошедшего риформинг, выходящего из нижнего конца теплообменных труб, по меньшей мере, в одном спиралевидном восходящем потоке внутри кожуха и вокруг внешней поверхности каждой из теплообменных труб;

причем каталитический реактор-теплообменник дополнительно содержит центральную трубу для смешанного газа, расположенную вертикально в центре кожуха с верхним выпускным концом и нижним выпускным концом, выполненную с возможностью обеспечения прохождения потока смешанного газа сверху, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока, примыкающую к нижней стороне верхней трубной решетки к нижнему выпускному отверстию для смешанного газа.

2. Каталитический реактор-теплообменник по признаку 1, причем каталитический реактор-теплообменник представляет собой каталитический реактор-теплообменник парового риформинга углеводородов.

3. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем множество перегородок расположены в виде, по меньшей мере, одной спирали.

4. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем, по меньшей мере, один спиралевидный восходящий поток огибает центральную трубу для смешанного газа, а перегородки содержат комплекты горизонтальных и вертикальных сегментов, расположенных в виде винтовой лестницы.

5. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем множество перегородок расположено и выполнено с возможностью обеспечения 1-4 спиралевидных восходящих потоков, предпочтительно двух спиралевидных восходящих потоков.

6. Каталитический реактор-теплообменник по признаку 4 или 5, причем для полного поворота на 360° по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока предусмотрено 2-16 комплектов перегородок, предпочтительно 8 комплектов перегородок.

7. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем вертикальное расстояние между перегородками меньше в верхней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока, чем в нижней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока.

8. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем вертикальное расстояние между перегородками постепенно уменьшается от нижней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока к верхней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока.

9. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем вертикальное расстояние между верхними перегородками, примыкающими друг к другу по вертикали, составляет менее 500 мм, а вертикальное расстояние между нижними перегородками, примыкающими друг к другу по вертикали, превышает 600 мм.

10. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем, по меньшей мере, один спиралевидный восходящий поток совершает 1-8 полных поворотов на 360° от нижней части к верхней части, по меньшей мере, одного спиралевидного восходящего потока.

11. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем расстояние между вертикальными теплообменными трубами ближайшими к центральной трубе для смешанного газа меньше чем ближайшими к периферии кожуха.

12. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем расстояние между вертикальными теплообменными трубами постепенно уменьшается от места ближайшего к периферии кожуха к центральной трубе для смешанного газа.

13. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем расстояние между вертикальными теплообменными трубами составляет менее 50 мм в месте ближайшем к центральной трубе для смешанного газа и превышает 100 мм в месте ближайшем к периферии кожуха.

14. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем вертикальные теплообменные трубы расположены зигзагообразно, если смотреть по касательной от кожуха.

15. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, дополнительно содержащий внутреннюю оболочку, окружающую центральную трубу для смешанного газа и примыкающую к ней, закрепленную к верхней трубной решетке и выполненную с возможностью использования в качестве основания, по меньшей мере, для некоторых из множества перегородок.

16. Каталитический реактор-теплообменник по признаку 15, причем внутренняя оболочка является перфорированной.

17. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, дополнительно содержащий внешнюю оболочку, расположенную внутри кожуха и примыкающую к нему, и выполненную с возможностью использования в качестве основания, по меньшей мере, для некоторых перегородок.

18. Каталитический реактор-теплообменник по признаку 15, 16 или 17, причем внутренняя оболочка, внешняя оболочка или как внутренняя, так и внешняя оболочка содержит пластины ограничения потока.

19. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих признаков, причем катализатор содержит частицы, а вертикальные теплообменные трубы имеют внутренний диаметр, который в 1-1,9 раза превышает наибольший внешний размер частицы катализатора.

Настоящее изобретение рассматривается более детально применительно к некоторым вариантам осуществления изобретения, как показано на чертежах, на которых:

фиг. 1 представляет собой частичный изометрический вид сбоку некоторых внутренних элементов каталитического реактора-теплообменника в соответствии с вариантом осуществления изобретения;

фиг. 2 представляет собой вид сбоку с частичным разрезом некоторых внутренних элементов каталитического реактора-теплообменника в соответствии с вариантом осуществления изобретения;

фиг. 3 представляет собой вид в разрезе некоторых внутренних элементов каталитического реактора-теплообменника в соответствии с вариантом осуществления изобретения.

Обзор номеров позиций.

100 - теплообменные трубы,

101 - верхняя трубная решетка,

102 - перегородки,

- 103 - отверстие перегородки,
- 104 - центральная труба для газа,
- 105 - верхний впускной конец,
- 106 - нижний выпускной конец,
- 107 - спираль,
- 108 - горизонтальный сегмент,
- 109 - вертикальный сегмент,
- 110 - внутренняя оболочка,
- 111 - выпускные отверстия внутренней оболочки,
- 112 - внешняя оболочка,
- 113 - пластины ограничения потока.

Следует понимать, что ниже представлены лишь некоторые конкретные варианты осуществления изобретения. Как указывалось выше, в изобретении рассматриваются дополнительные варианты осуществления, например, ряд других конструкций перегородки, которые обеспечивают спиралевидный восходящий поток.

На фиг. 1 некоторые внутренние элементы каталитического реактора-теплообменника для эндотермических или экзотермических каталитических реакций в соответствии с вариантом осуществления изобретения показаны в изометрической проекции сбоку частично в разрезе (некоторые теплообменные трубы вырезаны, что позволяет более четко показать другие части внутренних элементов). Следует понимать, что представленные внутренние элементы установлены в кожухе с цилиндрическим сечением (не показан), как известно в данной области техники. Множество теплообменных труб 100 расположено вертикально, по меньшей мере, в части цилиндрического участка кожуха. Теплообменные трубы позволяют технологическому газу проходить внутри них от верхнего конца к нижнему концу труб, минуя катализатор (не указан), который, по меньшей мере, частично заполняет теплообменные трубы. Технологический газ подается к теплообменным трубам через, по меньшей мере, одно верхнее впускное отверстие для технологического газа, расположенное в верхней части кожуха (не указано), далее через верхнюю трубную решетку 101 через отверстия в трубной решетке, которая окружает и, соответственно, является основанием для теплообменных труб. Основание может быть скользящим (основание, которое предотвращает лишь горизонтальное смещение теплообменных труб), либо может быть фиксированным, предотвращая, как указывалось выше по тексту, как горизонтальное, так и вертикальное смещение теплообменных труб. Как видно, теплообменные трубы расположены близко друг к другу, но при этом на достаточном удалении, чтобы между ними мог проходить газ - вокруг внешней поверхности теплообменных труб, как более подробно рассматривается ниже. Технологический газ проходит вниз по всей длине теплообменных труб и выходит через нижние концы теплообменных труб в нижней части кожуха. Здесь технологический газ смешивается с относительно горячим теплообменным газом, поступающим в нижнюю часть кожуха через, по меньшей мере, одно нижнее впускное отверстие для теплообменного газа (не указано). Теплообменный газ смешивается с технологическим газом, и таким образом горячий (по отношению к технологическому газу) смешанный газ поступает вверх через кожух вокруг внешней поверхности теплообменных труб. Восходящий поток смешанного газа ограничивается и направляется множеством перегородок 102. Перегородки состоят как из наборов как горизонтальных сегментов 108, так и вертикальных сегментов 109, в настоящем варианте осуществления расположенных приблизительно по спирали 107, в форме винтовой лестницы, которая ограничивает и направляет поток смешанного газа по меньшей мере в рамках одного спиралевидного восходящего потока внутри кожуха и вокруг внешней поверхности каждой из теплообменных труб, тем самым обеспечивая эффективную и равномерную передачу тепла от горячего смешанного газа через стенку теплообменной трубы к более холодному технологическому газу в теплообменных трубах, обеспечивая тепло для эндотермической каталитической реакции(ий), протекающей в, по меньшей мере, частично заполненных катализатором теплообменных трубках. Спиралевидная ступенчатая форма перегородок направляет поток почти идеально по спирали вверх, одновременно обеспечивая относительную простоту изготовления и установки перегородок и теплообменных труб. Горизонтальные сегменты обеспечивают поверхность перегородки, которая перпендикулярна теплообменной трубе, и, таким образом, отверстия 103 в перегородках, которые выступают в качестве основания и обеспечивают прохождение теплообменных труб, могут иметь простую круглую форму; вертикальные сегменты могут проходить между теплообменными трубами, а необходимость в отверстиях отсутствует. Кроме того, конструкция в виде лестницы позволяет сделать ее изготовлении менее затратным, поскольку в рамках него два или более сегментов могут быть собраны заранее перед установкой в каталитический реактор-теплообменник, а компоновка двух сегментов может, например, представлять собой простой изгиб плоской пластины. Количество ступеней/сегментов перегородок может варьироваться и выбираться в зависимости от габаритов конкретного реактора и технологического процесса, с учетом, помимо прочего, затрат и оптимального потока смешанного газа. В данном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, часть перегородок прикреплены к цилиндрической внутренней оболочке 110, расположенной вокруг центральной оси кожуха. В верхней части внутренней оболочки предусмотрены выпускные отверстия 111 внутренней оболочки, которые позволяют

смешанному газу проходить, когда он достигает вершины спирали, а дальнейший восходящий поток блокируется верхней трубной решеткой, что предотвращает взаимодействие смешанного газа с поступающим технологическим газом. Через выпускные отверстия внутренней оболочки теплообменная более холодная газовая смесь выходит через верхний впускной конец 105 (см. фиг. 3) центральной трубы 104 для смешанного газа. Центральная труба для смешанного газа позволяет смешанному газу выходить через нижний выпускной конец 106 в нижней части каталитического реактора-теплообменника. Это устраняет необходимость во внешней линии перетока к реактору, которая занимала бы пространство и была бы значительно дороже по сравнению с внутренней центральной трубой для смешанного газа, поскольку внешняя линия перетока предполагала бы необходимость наличия соединений, изоляции, опор и проектировалась бы с толстой стенкой, способной выдерживать максимальное технологическое давление. "Стоимость" центральной трубы для смешанного газа также относительно невелика с учетом процесса теплообмена, поскольку центральная часть спиралевидного восходящего потока является наименее эффективной частью круглого сечения с точки зрения теплообмена.

На фиг. 2 показан тот же вариант осуществления каталитического теплообменного реактора-теплообменника, только в частичном разрезе вместо изометрической боковой проекции. Элементы те же, что на фиг. 1, при этом на боковой проекции лучше видно, что этот вариант осуществления содержит две перегородки, расположенные в виде винтовой лестницы, поскольку в самой нижней части пучка теплообменных труб показаны два горизонтальных сегмента перегородки, один из которых на 180° повернут в поперечном сечении относительно другого. Таким образом, в указанном варианте смешанный газ поступает двумя спиралевидными восходящими потоками.

На фиг. 3 вид в поперечном сечении показана часть каталитического реактора-теплообменника в соответствии с вариантом осуществления изобретения, демонстрирующая признаки, описанные выше и указанные на фиг. 1 и 2, а также некоторые дополнительные признаки. Будучи самой внутренней частью круглой конструкции центральную трубу для смешанного газа можно видеть (через трубу), ее верхняя часть образует верхний выпускной конец 105, как описано выше. Вокруг центральной трубы для смешанного газа видна внутренняя оболочка, выступающий в качестве основания для перегородок, как описано выше. Пространство между центральной трубой для смешанного газа и внутренней оболочкой может быть заполнено теплоизоляцией. На данной проекции видно расположение теплообменных труб. Видно, что трубы расположены в некоторой степени зигзагообразно, что вынуждает смешанный газ постоянно менять направление при движении по спирали и усиливает теплообмен. При этом, расположение теплообменных труб также обеспечивает пространство для размещения вертикальных сегментов перегородки, в представленном варианте осуществления - восемь мест вокруг круглого поперечного сечения кожуха. Также показана дополнительная оболочка, внешняя оболочка 112 и пластины 113 ограничения потока, расположенные на внутренней стороне цилиндрической внешней оболочки, которые ограничивают поток смешанного газа из байпаса теплообменных труб на внешнем периметре теплообменных труб.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Каталитический реактор-теплообменник для осуществления эндотермических или экзотермических каталитических реакций, содержащий
 кожух цилиндрического сечения,
 по меньшей мере одно нижнее впускное отверстие для теплообменного газа,
 по меньшей мере одно нижнее выпускное отверстие для смешанного газа,
 центральную трубу для смешанного газа, расположенную вертикально в центре кожуха с верхним впускным концом и нижним выпускным концом, выполненную с возможностью обеспечения прохождения потока смешанного газа сверху по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока, прилегающую к нижней стороне верхней трубной решетки к нижнему выпускному отверстию для смешанного газа, отличающийся тем, что каталитический реактор-теплообменник дополнительно содержит
 множество вертикальных теплообменных труб, по меньшей мере, частично заполненных катализатором и расположенных внутри указанного кожуха, и через которые технологический газ может быть пропущен от верхнего конца теплообменных труб к нижнему концу теплообменных труб,
 по меньшей мере одно верхнее впускное отверстие для технологического газа, обеспечивающее прохождение потока технологического газа к верхнему концу теплообменных труб,
 верхнюю трубную решетку, выполненную с возможностью использования в качестве основания для множества теплообменных труб,
 множество перегородок, расположенных внутри кожуха под верхней трубной решеткой, с отверстиями, выполненными с возможностью использования в качестве основания для теплообменных труб, причем перегородки содержат комплекты горизонтальных и вертикальных сегментов, расположенных в виде винтовой лестницы и выполненных с возможностью обеспечения прохождения потока смешанного газа, содержащего теплообменный газ, из нижнего впускного отверстия для теплообменного газа, и газа, прошедшего риформинг, выходящего из нижнего конца теплообменных труб по меньшей мере в одном

спиралевидном восходящем потоке внутри кожуха, вокруг центральной трубы для смешанного газа и вокруг внешней поверхности каждой из теплообменных труб.

2. Каталитический реактор-теплообменник по п.1, причем каталитический реактор-теплообменник представляет собой каталитический реактор-теплообменник парового риформинга углеводородов.

3. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем множество перегородок расположены в виде по меньшей мере одной спирали.

4. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем множество перегородок расположено и выполнено с возможностью обеспечения 1-4 спиралевидных восходящих потоков, предпочтительно двух спиралевидных восходящих потоков.

5. Каталитический реактор-теплообменник по п.3 или 4, причем для полного поворота на 360° по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока предусмотрено 2-16 комплектов перегородок, предпочтительно 8 комплектов перегородок.

6. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем вертикальное расстояние между перегородками меньше в верхней части по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока, чем в нижней части по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока.

7. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем вертикальное расстояние между перегородками постепенно уменьшается от нижней части по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока к верхней части по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока.

8. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем вертикальное расстояние между верхними перегородками, примыкающими друг к другу по вертикали, составляет менее 500 мм, а вертикальное расстояние между нижними перегородками, примыкающими друг к другу по вертикали, превышает 600 мм.

9. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем указанное множество перегородок, имеющее конструкцию в виде винтовой лестницы выполнено с возможностью обеспечения по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока, совершающего 1-8 полных поворотов на 360° от нижней части к верхней части по меньшей мере одного спиралевидного восходящего потока.

10. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем расстояние между вертикальными теплообменными трубами, ближайшими к центральной трубе для смешанного газа, меньше, чем ближайшими к периферии кожуха.

11. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем расстояние между вертикальными теплообменными трубами постепенно уменьшается от места ближайшего к периферии кожуха к центральной трубе для смешанного газа.

12. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем расстояние между вертикальными теплообменными трубами составляет менее 50 мм в месте, ближайшем к центральной трубе для смешанного газа, и превышает 100 мм в месте, ближайшем к периферии кожуха.

13. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем вертикальные теплообменные трубы расположены зигзагообразно, если смотреть по касательной от кожуха.

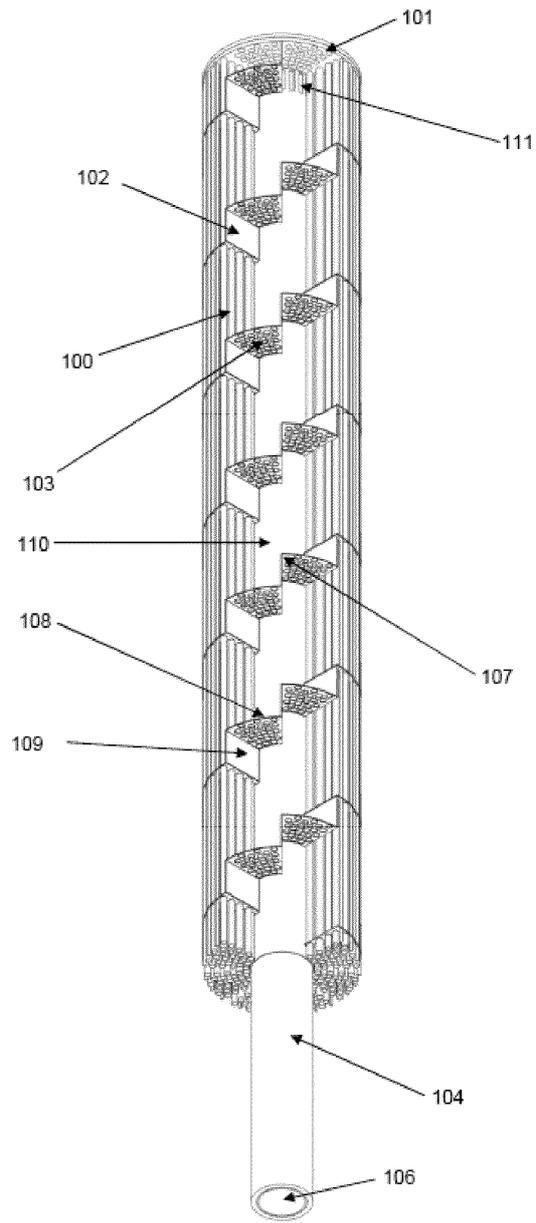
14. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащий внутреннюю оболочку, окружающую центральную трубу для смешанного газа и примыкающую к ней, закрепленную к верхней трубной решетке и выполненную с возможностью использования в качестве основания, по меньшей мере, для некоторых из множества перегородок.

15. Каталитический реактор-теплообменник по п.14, причем внутренняя оболочка является перфорированной.

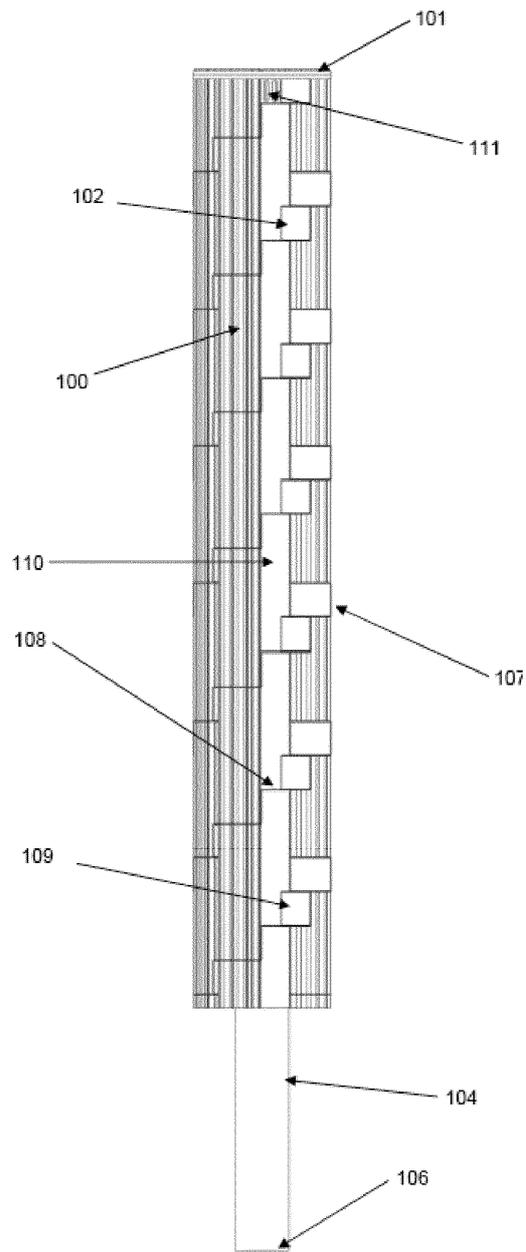
16. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащий внешнюю оболочку, расположенную внутри кожуха и примыкающую к нему, выполненную с возможностью использования в качестве основания, по меньшей мере, для некоторых перегородок.

17. Каталитический реактор-теплообменник по пп.14, 15 или 16, причем внутренняя оболочка, внешняя оболочка или как внутренняя, так и внешняя оболочка содержат пластины ограничения потока.

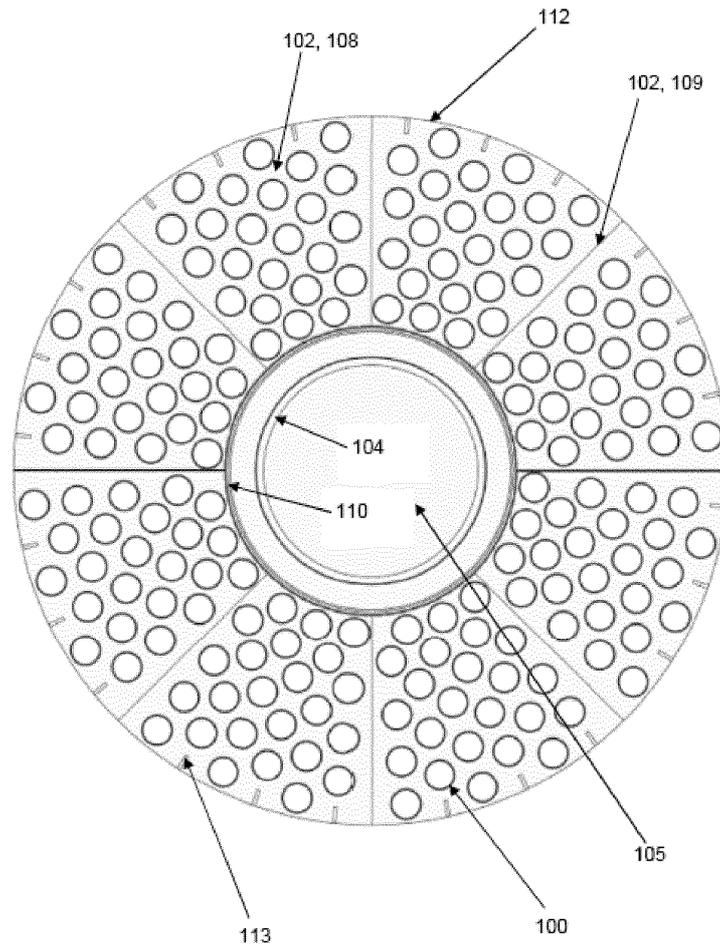
18. Каталитический реактор-теплообменник по любому из предшествующих пунктов, причем катализатор содержит частицы, а вертикальные теплообменные трубы имеют внутренний диаметр, который в 1-1,9 раза превышает наибольший внешний размер частицы катализатора.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

