

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041640**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.11.16

(51) Int. Cl. **B01J 8/04** (2006.01)
C01C 1/04 (2006.01)

(21) Номер заявки
202091529

(22) Дата подачи заявки
2018.12.19

(54) ОХЛАЖДАЕМЫЙ КОНВЕРТЕР С ОСЕВЫМ ПОТОКОМ

(31) **РА 2017 00733**

(32) **2017.12.20**

(33) **DK**

(43) **2020.11.05**

(86) **PCT/EP2018/085899**

(87) **WO 2019/121953 2019.06.27**

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

(72) Изобретатель:
**Шпет Кристиан Хенрик, Даль Пер
Юуль (DK)**

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(56) EP-A1-2070590
EP-A1-1477220
EP-A2-0080270
EP-A1-1419813
EP-A1-0931586

(57) Изобретение касается охлаждаемого конвертера с осевым потоком, в котором технологический газ поступает от внешнего кольцевого пространства во внутреннюю центральную трубу через слой катализатора, причем осуществляют конверсию технологического газа с получением продукта, при этом слой катализатора содержит по меньшей мере один модуль, содержащий один или более слоев катализатора. Для подачи потока технологического газа от внешнего кольцевого пространства к входной части одного или более модулей предусмотрено устройство подачи, а для подачи полученного в результате конверсии технологического газа потока продукта, который проходит в осевом направлении через слой катализатора в одном или более модулях в центральную трубу, предусмотрено коллекторное устройство. По меньшей мере один из одного или более модулей содержит одну или более охлаждающих пластин, выполненных с возможностью охлаждения с помощью охлаждающей текучей среды.

B1**041640****041640****B1**

Изобретение относится к охлаждаемому конвертеру с осевым потоком, в котором технологический газ поступает от внешнего кольцевого пространства во внутреннюю центральную трубу через слой катализатора, причем осуществляют конверсию технологического газа с получением продукта.

Конвертеры аммиака представляют собой сложные устройства из-за того, что, как уже упоминалось, синтез аммиака из азота и газообразного водорода (приблизительно в отношении 1:3) является экзотермической реакцией, которая проходит при высоких температурах и при высоком давлении. Таким образом, между несколькими каталитическими зонами, как правило, используют промежуточное охлаждение для поддержания кинетики и условий равновесия для обеспечения оптимальной эффективности конверсии. Кроме того, при этом должна быть предусмотрена возможность обслуживания каталитических зон, например, для регулярного удаления и замены катализаторов, когда катализаторы теряют эффективность.

Из-за того, что конвертеры аммиака представляют собой сложные устройства, и из-за того, что они являются важной частью оборудования, предпринимается много усилий для повышения их эффективности. Так, в документе US 2004/0096370 A1 описан вертикальный конвертер аммиака с отдельным потоком, в котором каталитическая зона с неподвижным слоем катализатора механически разделена на два параллельно функционирующих объема катализатора и два газовых потока. При такой конструкции отношение газового потока к объему катализатора поддерживают таким образом, что эффективность катализатора не снижается. Слои катализатора и линии газового потока выполнены таким образом, что через каждый объем катализатора газовый поток поступает сверху вниз.

Когда в каталитическом конвертере с неподвижным слоем необходим низкий перепад давления, зачастую предпочтительным является тип конвертера с радиальным потоком. Тем не менее, в отдельных случаях, например в случае с охлаждаемым слоем катализатора, в случае усадки катализатора или в случае, когда частицы катализатора имеют низкую прочность одновременно при большой высоте слоя катализатора, такое решение не является целесообразным, поэтому в таких случаях предпочтительными являются реакторы с межслойным охлаждением или параллельные реакторы.

Решение может состоять в замене слоя с радиальным потоком несколькими, расположенными одна над одной одинаковыми емкостями с осевым потоком. Несмотря на то что в каждой отдельной емкости направление потока является осевым, весь блок может представлять собой реактор с радиальным потоком, в котором, например, исходный поток идет от внешнего кольцевого пространства, а выходящий поток из реактора поступает во внутреннюю трубу. Высота слоя может регулироваться таким образом, чтобы обеспечить соответствие требованию по перепаду давления и силе катализатора без изменения принципиальной фигуры реактора.

Таким образом, настоящее изобретение относится к охлаждаемому конвертеру с осевым потоком, в котором внутри цилиндрического корпуса реактора технологический газ поступает от внешнего кольцевого пространства во внутреннюю центральную трубу через слой катализатора, где осуществляют конверсию технологического газа с получением продукта, при этом

слой катализатора содержит два или более модуля (2), содержащих по меньшей мере один слой катализатора (3);

устройства подачи (4) выполнены с возможностью параллельного соединения внешнего кольцевого пространства (5) и входной части (6) двух или более модулей (2);

коллекторные устройства (7) расположены на выходе двух или более модулей (2) с возможностью предоставления проточного прохода для полученного в результате конверсии технологического газа потока продукта, проходящего в осевом направлении через слой катализатора (3) в двух или более модулях в центральную трубу (8); и

по меньшей мере один из указанных двух или более модулей (2) содержит одну или более охлаждающих пластин (10), охлаждаемых посредством технологического газа и расположенных по меньшей мере в одном слое катализатора (3);

указанные два или более модуля (2) имеют диаметр, который меньше внутреннего диаметра цилиндрического корпуса реактора, образующего внешнее кольцевое пространство (5) между корпусом реактора и указанными двумя или более модулями (2), причем поступающий технологический газ распределяется по указанным двум или более модулям (2).

Конструкция, когда конвертер включает внешнее кольцевое пространство, через которое подается технологический газ, устройство подачи для подачи технологического газа от кольцевого пространства к входной части по меньшей мере одного модуля, содержащего по меньшей мере один слой катализатора, а также коллекторное устройство для сбора потока продукта, т.е. технологического газа, прошедшего через катализатор в модуле, и для подачи собранного потока продукта во внутреннюю центральную трубу, обеспечивает несколько преимуществ, например:

в случае экзотермической реакции для корпуса реактора поддерживается минимально возможная температура;

с использованием модулей, содержащих катализатор(ы), упрощается загрузка/разгрузка катализатора, поскольку загрузка/разгрузка катализатора в модули может осуществляться вне конвертера;

модульная конструкция обеспечивает внутреннее разделение потока, что значительно снижает об-

щий перепад давления Δp в реакторе;

уникальная модульная конструкция позволяет использовать модули с разным диаметром для более эффективного использования объема реактора;

модульная конструкция обеспечивает низкое отношение диаметра и высоты реактора, в результате чего уменьшается площадь, необходимая для размещения реактора, и упрощается его транспортировка.

В различных предпочтительных вариантах осуществления устройство подачи, по меньшей мере, частично расположено в охлаждающих пластинах, т.е. технологический газ проходит через охлаждающие пластины, выступая в качестве охлаждающей среды для окружающего катализатора в модуле.

Это означает, что охлаждающие пластины и устройство подачи могут быть выполнены с возможностью обеспечения предварительного нагрева технологического газа при прохождении через указанное устройство подачи, при этом, в то время тепло реакции, по меньшей мере, частично отводится от одного или более слоев катализатора в модуле.

Охлаждаемый преобразователь с осевым потоком предпочтительно содержит два или более модуля, а одна или более охлаждающих пластин каждого модуля предпочтительно разделяют модуль на два или более охлаждаемых каталитических канала с общей площадью поперечного сечения катализатора $A_{кат}$. В случае если используют более одного модуля в конвертере, модули могут быть расположены один над другим.

В предпочтительном варианте осуществления охлаждаемого конвертера с осевым потоком по изобретению охлаждающие пластины содержат по меньшей мере один охлаждающий канал, имеющий ширину W и высоту H , а модуль содержит охлаждаемый слой катализатора с высотой H . Общая площадь поперечного сечения охлаждающих пластин модуля - $A_{охл}$. Отношение $A_{кат}/A_{охл}$ может определяться на основании специальных требований к охлаждению.

Чтобы обеспечить однородную температуру катализатора по охлаждающим пластинам, отклонения расстояния между соседними охлаждающими пластинами предпочтительно составляют не более чем $\pm 15\%$ от постоянного. В зависимости от конструкции максимальное отклонение расстояния между соседними охлаждающими пластинами может составлять ± 10 , $\pm 5\%$ или 2% . Предпочтительно отклонение расстояния между двумя соседними охлаждающими пластинами близко $\pm 0\%$, поскольку это обеспечит равномерное охлаждение слоя катализатора и, следовательно, оптимальную производительность реактора.

Охлаждающие пластины могут быть расположены различными способами для обеспечения одинакового расстояния между охлаждающими пластинами, например, в виде концентрических колец вокруг внутренней центральной трубы или в виде винта Архимеда с центральной осью вдоль центральной трубы.

В соответствии с еще одним предпочтительным вариантом осуществления охлаждаемый конвертер с осевым потоком выполнен с возможностью параллельного и/или последовательного функционирования двух или более модулей. В частности, с использованием конструкции с параллельными модулями обеспечивается конструкция реактора с общим низким перепадом давления в слоях катализатора с осевым потоком. Модули могут быть расположены параллельно, чтобы уменьшить перепад давления, или модули могут быть расположены последовательно, чтобы увеличить степень конверсии.

Предпочтительно конвертер выполнен с возможностью обеспечения одинакового перепада давления Δp во всех параллельно функционирующих модулях в пределах $\pm 5\%$. Это обеспечит равномерное распределение газа относительно катализатора между модулями, чтобы обеспечить одинаковый или практический одинаковый поток технологического газа через модули. Предпочтительно перепад давления между модулями близок к 0% , поскольку это обеспечит равномерное распределение газа между модулями, благодаря чему обеспечивается оптимальная производительность реактора.

Если высота H охлаждающего канала и слоя катализатора параллельно функционирующих модулей является одинаковой в пределах $\pm 5\%$, то могут быть реализованы варианты, в которых в параллельных модулях обеспечивается одинаковый поток технологического газа.

Предпочтительное распределение технологического газа между параллельными модулями также может быть обеспечено, если отношение между общей площадью поперечного сечения охлаждающих пластин ($A_{охл}$) и общей площадью поперечного сечения катализатора ($A_{кат}$) параллельно функционирующих модулей является одинаковым в пределах $\pm 10\%$.

Таким образом, модули могут предпочтительно иметь одинаковую или практически одинаковую высоту охлаждающего канала и канала катализатора в пределах плюс/минус пяти процентов, одинаковое отношение между шириной охлаждающего канала и канала катализатора в пределах плюс/минус десяти процентов, одинаковое отношение между площадью поперечного сечения охлаждающего канала и канала катализатора в пределах плюс/минус пяти процентов и/или содержат одинаковый тип катализатора.

В некоторых вариантах осуществления изобретения модуль(и) содержит адиабатический слой над и/или под одним или более охлаждаемыми слоями катализатора, причем указанный адиабатический слой имеет диаметр ($d_{ад}$), площадь поперечного сечения ($A_{ад}$) и высоту ($H_{ад}$), при этом в параллельно функционирующих модулях высота ($H_{ад}$) слоя/слоев адиабатического катализатора является одинаковой

$\pm 5\%$.

Адиабатические слои, добавленные ниже слоя(ев) охлажденного катализатора, могут быть, по меньшей мере, частично расположены в коллекторном устройстве, то есть газообразный продукт, выходящий из охлажденного катализатора, может проходить через слой адиабатического катализатора при его прохождении через коллекторное устройство в центральную трубу.

Аналогично условиям для охлаждаемого катализатора, в параллельно функционирующих модулях высота $H_{\text{ад}}$ слоя/слоев адиабатического катализатора может быть одинаковой $\pm 5\%$ максимум, предпочтительно $\pm 0\%$, чтобы обеспечить в конвертере оптимизированный поток через все модули реактора.

Таким образом, предпочтительно, чтобы параллельно функционирующие модули имели одинаковое отношение поперечного сечения и высоты для охлаждающей пластины/катализатора, тогда как последовательно функционирующие модули могут иметь разные конфигурации охлаждающих пластин и катализатора, поскольку оптимальные требования в отношении практически одинакового Dr для параллельных модулей не применяются к последовательным модулям.

Модули являются функционально идентичными, когда они имеют одинаковую высоту охлаждающего канала и канала катализатора в пределах плюс/минус пяти процентов, одинаковое отношение между шириной охлаждающего канала и канала катализатора в пределах плюс/минус десяти процентов, одинаковое отношение между площадью поперечного сечения охлаждающего канала и канала катализатора в пределах плюс/минус пяти процентов и содержат одинаковый тип катализатора. Функционально идентичной конструкцией модуля обеспечивается одинаковый поток/объем катализатора (объемную скорость) в каждом модуле.

В целом, может быть желательно иметь одинаковую объемную скорость потока, по меньшей мере, через некоторые модули, предпочтительно через все модули, чтобы обеспечить равную конверсию технологического газа при его прохождении через модули.

Таким образом, предпочтительно, чтобы модули были выполнены с возможностью обеспечения одинаковой объемной скорости в каждом из параллельно функционирующих модулей. Например, все модули могут иметь одинаковую высоту и содержать одинаковые слои катализатора. Диаметр модулей может варьироваться, например, чтобы модули могли физически размещаться в разных зонах конвертера, при условии, что катализатор является одинаковым во всех модулях и при условии, что распределение/отношение каналов катализатора и охлаждающих каналов являются одинаковыми.

Т.е. низкая разница в перепаде давления Dr между функционирующими параллельно модулями является предпочтительной и может быть обеспечена, если

высота H охлаждающего канала и слоя катализатора параллельно функционирующих модулей является одинаковой в пределах $\pm 5\%$;

разница между охлаждающими пластинами параллельно функционирующих модулей отклоняется от постоянной не более чем на 15% . Предпочтительно отклонение приближается к 0% ;

отношение между общей площадью поперечного сечения охлаждающих пластин ($A_{\text{охл}}$) и общей площадью поперечного сечения катализатора ($A_{\text{кат}}$) параллельно функционирующих модулей предпочтительно является одинаковым в пределах $\pm 10\%$.

Как правило, корпус реактора имеет дно, а также верхнюю сферическую или эллипсоидальную секцию с уменьшенным диаметром. Важным признаком настоящего изобретения является то, что модули могут иметь разные диаметры также при их параллельном функционировании, что может быть достигнуто при соблюдении вышеуказанных требований к модулю, так как при этом все равно будет достигаться равномерное распределение газа на площадь катализатора и охлаждающего канала.

В других предпочтительных вариантах осуществления изобретения поток в охлаждающих каналах поступает в том же направлении, что и направление потока в канале катализатора (прямоточная конструкция), или поступает в направлении, противоположном направлению потока в канале катализатора (противоточная конструкция), в зависимости от характеристик катализатора и термодинамики реакции. При противоточной конструкции обеспечивается оптимальное охлаждение и самая простая конструкция механического модуля. Однако противоточная конструкция в некоторых случаях может привести к слишком сильному охлаждению в месте, где это не является желательным, что, в частности, может происходить при малой производительности, например при производительности от 30 до 70% . Эта проблема решается прямоточной конструкцией, однако из-за дополнительного канала такая конструкция является более сложной механически и занимает пространство в реакторе, что требует дополнительных издержек.

Все или некоторые модули могут быть снабжены устройствами, позволяющими извлекать модуль из реактора и/или вставлять модуль в реактор, чтобы обеспечить возможность загрузки катализатора/выгрузки катализатора/обслуживания модуля вне реактора.

Модуль/модули предпочтительно имеет/имеют диаметр, который меньше внутреннего диаметра корпуса конвертера/реакционной емкости, оставляя внешнее кольцевое пространство, в котором поступающий неочищенный газ может распределяться в соответствующие модули. Каждый модуль предпочтительно дополнительно имеет внутреннюю центральную трубу, в которой газообразный продукт собирается перед выходом из модуля.

Реактор может иметь две или более модульные секции, при этом каждая модульная секция содержит один или более модулей. Секции могут быть отдельными с возможностью обеспечения различных условий потока и давления.

Зона резкого охлаждения может быть выполнена с возможностью резкого охлаждения газообразного продукта по меньшей мере из одной модульной секции с получением потока охлажденного продукта, в этом случае конвертер также может содержать устройство для подачи по меньшей мере части охлажденного технологического потока в качестве исходного потока для одной или более последующих секций.

В качестве газа для резкого охлаждения может использоваться свежий технологический газ и/или газ, прошедший частичную конверсию, при необходимости, охлажденный технологический газ. Резкое охлаждение - это способ снизить реактивную способность газа и отвести тепло от экзотермической реакции.

Модули в разных модульных секциях могут отличаться друг от друга, содержать разные катализаторы и располагаться по-разному. Например, модули в первой секции, куда поступает свежий несмешанный технологический газ с высокой реакционной способностью, могут работать при более низкой температуре и содержать менее реактивный катализатор по сравнению с модулями в следующей секции, куда поступает газообразный продукт из первой секции (при необходимости, смешанный, например, с охлажденным технологическим газом), который является менее реактивным по сравнению с несмешанным, не вступавшим в реакцию технологическим газом, который поступает в модули в первой секции.

По меньшей мере две или более модульные секции могут быть выполнены с возможностью параллельного функционирования, чтобы обеспечить низкий общий перепад давления. Примером могут служить параллельные секции, каждая из которых содержит два последовательно функционирующих модуля. Такая конструкция обеспечит значительно меньший перепад давления для двойной объемной скорости.

В качестве альтернативы две или более модульные секции могут быть выполнены с возможностью последовательного функционирования с зоной резкого охлаждения между первой и второй модульными секциями. Расположение модулей в каждой секции может в этом случае меняться.

Кроме того, также возможна комбинация параллельных и последовательных секций, если этого требует процесс реакции. Некоторые модульные секции могут быть расположены параллельно, чтобы уменьшить перепад давления, в то время как другие секции могут быть расположены последовательно, чтобы увеличить степень конверсии.

Помимо прочего, охлаждаемый конвертер с осевым потоком по настоящему изобретению может быть использован в качестве реактора синтеза аммиака, реактора синтеза метанола, реактора метанирования или реактора сдвига, и его также можно использовать в связи с другими процессами экзотермической реакции.

В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения охлаждаемый конвертер с осевым потоком может содержать дополнительное устройство для подачи предварительно нагретого (горячего) технологического газа, поступающего, например, из внутреннего или внешнего пускового нагревателя, к катализатору, загруженному во все или в определенные модули, размещенные в одной или более модульных секциях конвертера. Такое устройство, именуемое газовой системой с прямым впуском, может эффективно обеспечивать восстановление активности катализатора в ходе запуска/активации катализатора. Указанная система прямого впуска газа предназначена для обхода внешнего кольцевого пространства и охлаждающих пластин, что позволяет подавать горячий технологический газ во время восстановления активности катализатора, в противном случае была бы превышена расчетная температура корпуса высокого давления и/или охлаждающих пластин. Без отдельной системы прямого впуска газа возможный уровень температуры катализатора во многих случаях будет ограничен, что приведет к длительному и неэффективному периоду восстановления.

В соответствии с еще одним предпочтительным вариантом осуществления изобретения указанная газовая система с прямым впуском также используется для подачи свежего (холодного) технологического газа в один или более слоев катализатора в одном или более модулях, содержащихся в одной или более модульных секциях при нормальном эксплуатационном режиме конвертера, то есть после первоначального восстановления активности/активации катализатора. Поток технологического газа, который проходит через систему прямого впуска газа, может контролироваться с помощью одного или более клапанов, расположенных снаружи конвертера. Эта система позволяет контролировать уровень температуры катализатора в нормальном эксплуатационном режиме. Например, в течение начального периода срока службы катализатора, когда активность катализатора максимальна, или в течение периодов пониженной нагрузки (с уменьшенным потоком подачи) в конвертере, доля исходного газа, подаваемого через систему прямого впуска газа, может быть увеличена для охлаждения катализатора, который нагревается теплотой экзотермической реакции. Аналогичным образом, если катализатор дезактивируется и/или повышается нагрузка конвертера, доля подаваемого газа, направляемого через систему прямого впуска газа, может быть уменьшена, чтобы обеспечить улучшенный нагрев оставшейся части подаваемого газа, который проходит предварительный нагрев в охлаждаемых пластинах. Использование упомянутой сис-

темы прямого впуска газа для обоих сценариев, нагревание в течение периода восстановления активности катализатора и регулирование температуры во время нормального режима эксплуатации, обеспечивает оптимальное использование доступного объема конвертера вместо проектирования конвертера с двумя отдельными устройствами/системами для подачи предварительно подогретого (горячего) и свежего (холодного) технологического газа соответственно.

Таким образом, в соответствии с настоящим изобретением предоставляется конвертер, содержащий модульный слой катализатора, обеспечивающий высокую вариативность конструкции. Модульная конструкция обеспечивает возможность использования узкоспециализированных конвертеров и слоев катализатора, которые адаптированы под требования различных процессов и ограничения реактора. Физические характеристики модулей могут варьироваться и оптимизироваться, например, таким образом, чтобы в верхней и/или нижней части реактора могли размещаться модули с меньшим радиусом, а в наиболее широкой части емкости конвертера могли размещаться модули полного диаметра. Модульная конструкция также обеспечивает возможность использования узкоспециализированного слоя катализатора с различными типами катализатора в разных секциях конвертера, а также обеспечивает возможность размещения зоны резкого охлаждения между секциями, при необходимости. В зависимости от применения конвертера, например, помимо прочего, при применении его в качестве реактора синтеза аммиака, реактора синтеза метанола, реактора метанирования, реактора сдвига и реактора для других экзотермических реакций, различные параметры конвертера могут изменяться и оптимизироваться. Например, в конвертере может варьироваться количество модулей, и конвертер может содержать одну, две, три или более секций с возможностью размещения зон резкого охлаждения между всеми секциями или лишь между некоторыми секциями.

В модулях также могут быть использованы различные типы катализатора, поскольку каждый модуль может быть выполнен с возможностью содержания одного слоя катализатора или более слоев катализатора одного и того же типа или разных типов. В некоторых вариантах осуществления изобретения все модули содержат катализатор одного и того же типа в одной и той же конфигурации, тогда как в других вариантах осуществления, по меньшей мере, некоторые модули содержат катализатор другого типа или катализатор в другой конфигурации, то есть модули содержат различное количество слоев катализатора с различной высотой и т.д.

Модульное расположение слоев катализатора в конвертере позволяет осуществлять загрузку катализатора в некоторые модули или во все модули вне емкости конвертера, а затем помещать модули в емкость конвертера. Модульное расположение катализатора также может облегчить выгрузку катализатора из конвертера, поскольку модули могут подниматься из конвертера по очереди. Возможность удаления всех или некоторых модулей может быть не только преимуществом, при необходимости, замены слоя катализатора, но также может быть выгодным в ходе технического обслуживания конвертера, когда можно достать весь слой катализатора или его часть, а затем можно загрузить модули по очереди обратно в конвертер и даже повторно использовать существующий катализатор.

При базовой конструкции с осевым/радиальным потоком, когда технологический газ протекает в осевом направлении через слой катализатора и проходит радиально через коллекторное устройство к центральной трубе, даже с одним модулем может быть получен конвертер с низким перепадом давления. Кроме того, поток технологического газа во внешнем кольцевом пространстве снижает температурное воздействие на корпус конвертера и, таким образом, более низкую температуру наружной стенки реактора.

Благодаря более низкому перепаду давления в сочетании с возможностью иметь несколько расположенных друг над другом модулей можно использовать высокие тонкие конвертеры с малым диаметром и с большим объемом катализатора.

Далее настоящее изобретение поясняется более подробно примерами вариантов осуществления изобретения со ссылкой на фиг. 1-5. Чертежи предоставлены для иллюстрирования признаков различных вариантов осуществления настоящего изобретения и не должны рассматриваться в качестве ограничения объема настоящего изобретения.

На фиг. 1 приведено схематическое изображение конвертера 1 в разрезе в соответствии с настоящим изобретением. Конвертер содержит четыре модуля 2, каждый из которых содержит один слой 3 катализатора. Четыре модуля функционируют параллельно при прохождении технологического газа 4 от внешнего кольцевого пространства 5 к входной части 6 каждого из модулей. Технологический газ проходит в осевом направлении через каждый слой катализатора и собирается в коллекторном устройстве 7, которое связано с каждым модулем, из которого он поступает в центральную трубу 8 и покидает конвертер в виде газообразного продукта 9. Модули и, следовательно, слои катализатора различаются по диаметру, так как три модуля имеют одинаковый диаметр, а четвертый модуль, расположенный в нижней части конвертера, имеет меньший диаметр, чтобы модуль мог быть расположен в нижней части конвертера. Слой катализатора в модулях имеет одинаковую высоту H , что означает, что если в каждом из четырех модулей используется катализатор одного типа, перепад давления на каждом модуле будет одинаковым.

На фиг. 2a и b показано поперечное сечение реактора, показанного на фиг. 2, в плоскости II-II. На

фиг. 2а показан вариант модуля с двумя охлаждающими пластинами 10, каждая из которых имеет канал 11 охлаждения. Охлаждающие пластины расположены радиально и рядом с центральной трубой 8 и разделяют катализатор на две половины, то есть на две каталитические секции. На фиг. 2b единственная охлаждающая пластина 9 расположена концентрично вокруг центральной трубы, тем самым разделяя слой катализатора в модуле на две концентрические секции катализатора.

На фиг. 3а и б показан поток и слои катализатора в конвертере с четырьмя противоточными охлаждаемыми модулями. На фиг. 3а показан конвертер с упрощенной конструкцией и с упрощенной схемой потока технологического газа 4 и газообразного продукта 9. На фиг. 3б показана конструкция согласно фиг. 3а с увеличенной секцией А. Технологический газ 4 поступает в охлаждающие каналы 11 модуля 2. Когда технологический газ проходит через охлаждающие каналы, технологический газ нагревается, а охлаждаемый слой 3 катализатора модуля охлаждается. Затем нагретый технологический газ 4b проходит через охлажденный слой катализатора, а затем через неохлаждаемый адиабатический слой 12 в модуле, прежде чем он покидает модуль через коллекторное устройство 7 и попадает в центральную трубу (не показана).

На фиг. 4а и б показан поток через прямоточный охлаждаемый конвертер с четырьмя охлаждаемыми модулями. В каждом модуле имеется единственный охлаждаемый слой 3 катализатора и адиабатический слой 12 катализатора, расположенный над и под указанным охлаждаемым слоем катализатора.

На фиг. 5 приведено схематическое изображение конвертера с шестью модулями 2, которые разделены на три последовательно функционирующие секции 13, 14, 15. Секции разделены пластинами или другими разделительными устройствами 16. Два модуля в каждой секции функционируют параллельно. Между секциями находятся зоны 17 резкого охлаждения, в которых горячий газообразный продукт 9 встречается с газом резкого охлаждения 18 с более низкой температурой, а затем смесь газообразного продукта и газа резкого охлаждения поступает в следующую секцию и в два модуля, расположенные в такой секции.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком, в котором внутри цилиндрического корпуса реактора технологический газ поступает от внешнего кольцевого пространства во внутреннюю центральную трубу через слой катализатора, где осуществляют конверсию технологического газа с получением потока продукта, отличающийся тем, что

слой катализатора содержит два или более модуля (2), содержащих по меньшей мере один слой катализатора (3);

устройства подачи (4) выполнены с возможностью параллельного соединения внешнего кольцевого пространства (5) и входной части (6) двух или более модулей (2);

коллекторные устройства (7) расположены на выходе двух или более модулей (2) с возможностью предоставления проточного прохода для полученного в результате конверсии технологического газа потока продукта, проходившего в осевом направлении через слой катализатора (3) в двух или более модулях в центральную трубу (8); и

по меньшей мере один из указанных двух или более модулей (2) содержит одну или более охлаждающих пластин (10), охлаждаемых посредством технологического газа и расположенных по меньшей мере в одном слое катализатора (3);

указанные два или более модуля (2) имеют диаметр, который меньше внутреннего диаметра цилиндрического корпуса реактора, образующего внешнее кольцевое пространство (5) между корпусом реактора и указанными двумя или более модулями (2), причем поступающий технологический газ распределяется по указанным двум или более модулям (2).

2. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по п.1, отличающийся тем, что устройства подачи (4), по меньшей мере, частично содержатся в охлаждающих пластинах (10), причем указанные охлаждающие пластины и устройства подачи выполнены с возможностью предварительного нагрева технологического газа во время прохождения через указанные устройства подачи, в то время как теплоту реакции, по меньшей мере, частично удаляют по меньшей мере из одного слоя катализатора (3) в указанные два или более модуля (2).

3. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что одна или более охлаждающих пластин (10) каждого из двух или более модулей (2) разделяет модули на два или более охлаждаемых каталитических канала с общей площадью поперечного сечения катализатора $A_{кат}$.

4. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что охлаждающая пластина содержит по меньшей мере один охлаждающий канал с шириной W и высотой H , причем модуль содержит охлаждаемый слой катализатора с высотой H .

5. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что общая площадь поперечного сечения охлаждающих пластин модуля является $A_{охл}$.

6. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что отклонения расстояния между соседними охлаждающими пластинами составляют не бо-

лее чем $\pm 15\%$ от постоянного.

7. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что во всех параллельно функционирующих модулях перепад давления Δp является одинаковым в пределах $\pm 5\%$.

8. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что высота H охлаждающего канала и слоя катализатора параллельно функционирующих модулей является одинаковой в пределах $\pm 5\%$.

9. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что отношение между общей площадью поперечного сечения охлаждающих пластин $A_{охл}$ и общей площадью поперечного сечения катализатора $A_{кат}$ параллельно функционирующих модулей является одинаковым в пределах $\pm 10\%$.

10. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что модуль содержит адиабатический слой над и/или под одним или более охлаждаемыми слоями катализатора, причем указанный адиабатический слой имеет диаметр $d_{ад}$, площадь поперечного сечения $A_{ад}$ и высоту $H_{ад}$.

11. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по п.4, отличающийся тем, что высота $H_{ад}$ слоя/слоев адиабатического катализатора в параллельно функционирующих модулях является одинаковой $\pm 5\%$.

12. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что поток в охлаждающих каналах поступает в том же направлении или в направлении, противоположном направлению потока в канале катализатора.

13. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что реактор имеет две или более модульные секции, при этом каждая модульная секция содержит один или более модулей.

14. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по п.13, содержащий зону резкого охлаждения, выполненную с возможностью резкого охлаждения газообразного продукта по меньшей мере из одной модульной секции с получением потока охлажденного продукта.

15. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по п.13 или 14, содержащий устройство для подачи по меньшей мере части охлажденного технологического потока в качестве исходного потока для одной или более последующих секций.

16. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по пп.13-15, отличающийся тем, что в качестве газа для резкого охлаждения используется свежий технологический газ и/или газ, прошедший частичную конверсию, при необходимости, охлажденный технологический газ.

17. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по пп.13-16, отличающийся тем, что модули в разных секциях могут отличаться друг от друга, содержать разные катализаторы и располагаться по-разному.

18. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по пп.13-15, отличающийся тем, что по меньшей мере две или более секции выполнены с возможностью параллельного функционирования.

19. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по пп.13-15, отличающийся тем, что две или более секции выполнены с возможностью последовательного функционирования.

20. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, который применяют в качестве реактора синтеза аммиака, реактора синтеза метанола, реактора метанирования, реактора сдвига и реактора для других экзотермических реакций.

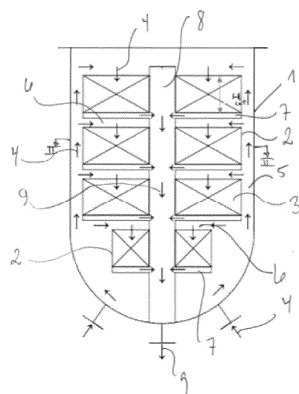
21. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что модули имеют одинаковую высоту охлаждающего канала и канала катализатора в пределах $\pm 5\%$, одинаковое отношение между шириной охлаждающего канала и канала катализатора в пределах $\pm 10\%$, одинаковое отношение между площадью поперечного сечения охлаждающего канала и канала катализатора в пределах $\pm 5\%$ и содержат одинаковый тип катализатора.

22. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что конвертер содержит дополнительное устройство для подачи предварительно нагретого технологического газа.

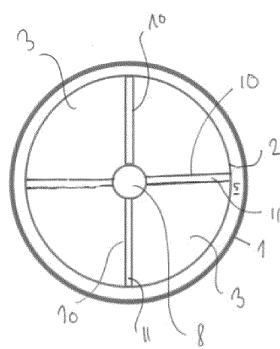
23. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по п.22, отличающийся тем, что устройство для подачи предварительно нагретого технологического газа выполнено с возможностью обхода внешнего кольцевого пространства и охлаждающих пластин.

24. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что конвертер содержит устройство подачи свежего технологического газа.

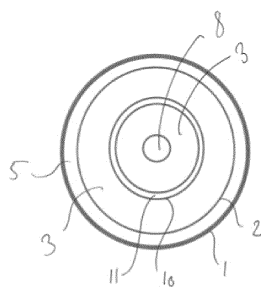
25. Охлаждаемый конвертер с осевым потоком по п.24, отличающийся тем, что устройство подачи свежего технологического газа соединено по меньшей мере с одним модулем, содержащим по меньшей мере один слой катализатора.



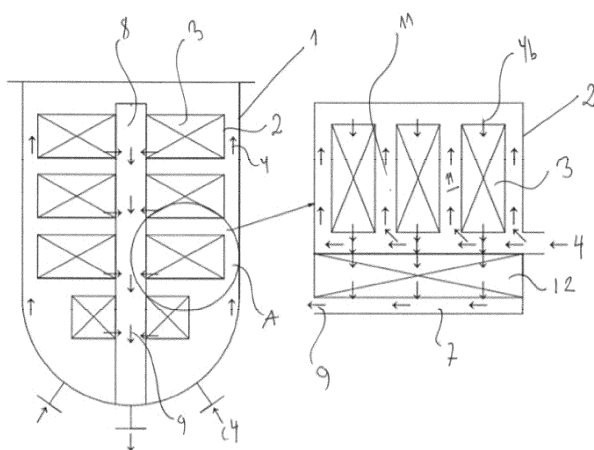
Фиг. 1



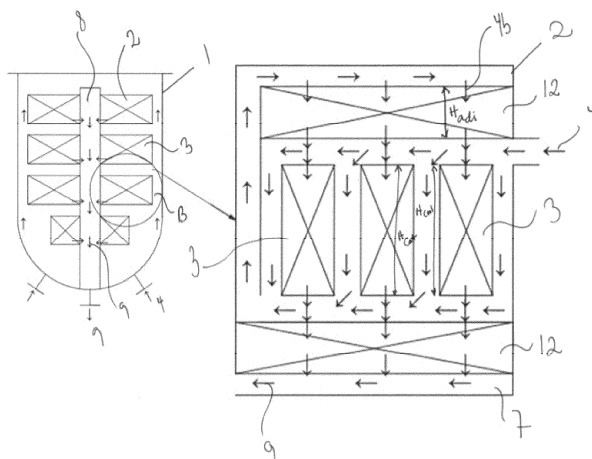
Фиг. 2a



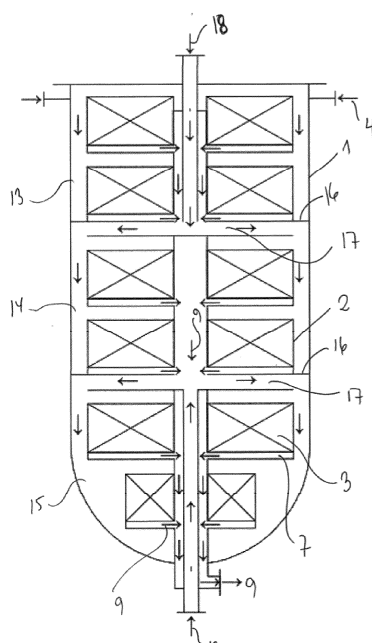
Фиг. 2b



Фиг. 3a, 3b



Фиг. 4а, 4б



Фиг. 5

