

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202391544 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.10.17

(22) Дата подачи заявки
2022.02.08

(51) Int. Cl. *F28D 7/16* (2006.01)
F28F 9/16 (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)
B01J 8/06 (2006.01)
C01B 3/38 (2006.01)
F28F 9/22 (2006.01)

(54) УПЛОТНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ТЕПЛООБМЕННОГО РЕАКТОРА

(31) 2102787.5

(32) 2021.02.26

(33) GB

(86) PCT/GB2022/050318

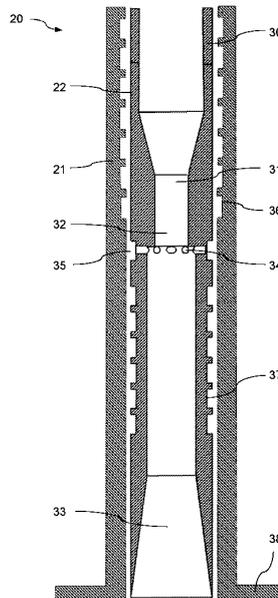
(87) WO 2022/180354 2022.09.01

(71) Заявитель:
ДЖОНСОН МАТТИ ПАБЛИК
ЛИМИТЕД КОМПАНИ (GB)

(72) Изобретатель:
Фарнелл Питер Уильям, Грэхэм
Саймон (GB)

(74) Представитель:
Нагорных И.М. (RU)

(57) Описано трубное уплотнительное устройство, приемлемое для применения в теплообменном реакторе, содержащем одну или более труб, причем указанное трубное уплотнительное устройство содержит трубное уплотнение и внутреннюю трубу, расположенную внутри трубного уплотнения для обеспечения зоны перекрытия, при этом указанная внутренняя труба имеет в указанной зоне перекрытия (i) сужение внутренней стороны, имеющее уменьшенную площадь поперечного сечения, образующее зону низкого давления, (ii) зону расширения, смежную с зоной сужения, с большей площадью поперечного сечения, чем у зоны сужения, и (iii) один или более каналов, проходящих через стенку внутренней трубы и соединяющих указанную зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы, причем трубное уплотнительное устройство дополнительно содержит одну или более канавок, образованных вокруг внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы.



202391544 A1

202391544 A1

УПЛОТНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ТЕПЛООБМЕННОГО РЕАКТОРА

Данное изобретение относится к уплотнительному устройству и его применению в теплообменных реакторах и процессах, в которых используется такое устройство, в частности в процессах каталитического парового риформинга.

В устройстве теплообменного реактора, содержащем нагреваемые снаружи трубы, может наблюдаться значительное дифференциальное тепловое расширение между трубами, по которым протекает технологическая текучая среда, и иными элементами, такими как трубная решетка, образующими границу зоны, через которую проходит среда теплообменника при теплообмене с технологической текучей средой, проходящей по трубам. Там, где трубы нагревают посредством среды теплообменника, обтекающей эти трубы снаружи, когда эта среда находится под более низким давлением, чем технологическая текучая среда, проходящая по трубам, одним из решений было применение уплотнительного устройства, присоединенного к каждой трубе, содержащего трубное уплотнение и внутреннюю трубу, расположенную с возможностью перемещения внутри трубного уплотнения и имеющую сужение, которое обеспечивает зону низкого давления, а также имеет каналы, проходящие через стенку внутренней трубы, соединяющие зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы. Таким образом предотвращается или уменьшается смешивание технологической текучей среды со средой теплообменника. Такое устройство описано в WO9705947.

Заявитель обнаружил, что прерывание потока среды теплообменника внутри уплотнительного устройства посредством создания турбулентности в кольцевом пространстве между наружной стороной внутренней трубы и внутренней стороной трубного уплотнения может количественно уменьшить смешивание среды теплообменника с технологической текучей средой.

Соответственно, в изобретении предложено трубное уплотнительное устройство, приемлемое для применения в теплообменном реакторе, содержащем одну или более труб, указанное трубное уплотнительное устройство содержит трубное

уплотнение и внутреннюю трубу, расположенную внутри трубного уплотнения для обеспечения зоны перекрытия, указанная внутренняя труба имеет в указанной зоне перекрытия (i) сужение внутренней стороны, имеющее уменьшенную площадь поперечного сечения, образующее зону низкого давления, (ii) зону расширения, смежную с зоной сужения, с большей площадью поперечного сечения, чем у зоны сужения, и (iii) один или более каналов, проходящих через стенку внутренней трубы, соединяющих указанную зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы, причем трубное уплотнительное устройство дополнительно содержит одну или более канавок, образованных вокруг внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы.

В изобретении дополнительно предложен теплообменный реактор, содержащий одну или более труб теплообменника, содержащих трубное уплотнительное устройство, и способ, в котором используются данный реактор и трубное уплотнительное устройство.

Устройство теплообменного реактора, включающее в себя трубное уплотнительное устройство, имеет особое значение, когда среда теплообменника, обтекающая трубы снаружи, находится под более низким давлением, чем технологическая текучая среда, проходящая по трубам.

Благодаря тому, что канавки обеспечены на внутренней стороне трубного уплотнения, а не на наружной стороне внутренней трубы, сокращается загрязнение внутренней трубы материалом, перенесенным к ней средой теплообменника. Это улучшает долгосрочные эксплуатационные показатели трубного уплотнительного устройства и может упростить техническое обслуживание благодаря возможности заменять загрязненные трубные уплотнения во время планового технического обслуживания. Кроме того, обеспечение канавок на внутренней стороне трубного уплотнения позволяет создавать большее количество канавок.

Для уменьшения смешивания технологической текучей среды и среды

теплообменника могут дополнительно присутствовать одна или более канавок в зоне перекрытия, соответствующей зоне расширения внутренней трубы. Одна или более канавок в зоне расширения могут находиться на наружной поверхности внутренней трубы или на внутренней поверхности трубного уплотнения. Предпочтительно одна или более канавок в зоне перекрытия, соответствующей зоне расширения внутренней трубы, расположены на наружной поверхности внутренней трубы, поскольку это упрощает изготовление.

Устройство теплообменного реактора, включающее в себя трубное уплотнительное устройство, может включать в себя зону подачи технологической текучей среды, зону теплообмена и зону отвода технологической текучей среды, первое и второе разграничительные средства, отделяющие указанные зоны друг от друга, одну или более теплообменных труб, прикрепленных к одному из указанных разграничительных средств и проходящих через зону теплообмена. Технологическая текучая среда может протекать из зоны подачи технологической текучей среды по одной или более теплообменным трубам в зону отвода технологической текучей среды. Для каждой теплообменной трубы обеспечено трубное уплотнительное устройство. Трубное уплотнение трубного уплотнительного устройства может быть прикреплено к одному из указанных разграничительных средств. На каждой теплообменной трубе обеспечена внутренняя труба трубного уплотнительного устройства. Трубное уплотнение расположено по существу коаксиально с внутренней трубой таким образом, что внутренняя труба находится во взаимодействии с возможностью перемещения путем скольжения со связанным с ней трубным уплотнением, таким образом формируя зону перекрытия.

Каждая внутренняя труба трубного уплотнительного устройства обеспечена (i) сужением внутренней стороны с уменьшенной площадью поперечного сечения, образующим зону низкого давления во внутренней трубе, (ii) зоной расширения, расположенной после указанной зоны сужения, с большей площадью поперечного сечения, чем у зоны сужения, и (iii) одним или более каналами, проходящими через стенку внутренней трубы, соединяющими указанную зону низкого давления с

наружной стороной внутренней трубы, указанные каналы расположены внутри указанной зоны перекрытия, обеспечивая таким образом канал прохождения потока для текучей среды из зоны теплообмена через указанную зону перекрытия в указанную зону низкого давления внутри указанной внутренней трубы.

Каждое трубное уплотнительное устройство содержит одну или более канавок, образованных вокруг внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы.

В теплообменном реакторе вышеуказанного типа технологическая текучая среда проходит из зоны подачи технологической текучей среды через одну или более теплообменных труб, расположенных внутри зоны теплообмена, образованной корпусом, через который проходит среда теплообменника, а затем в зону отвода технологической текучей среды. Для разделения этих зон обеспечены такие средства, как трубные решетки. Таким образом, трубная решетка может отделять зону теплообмена, через которую среда теплообменника проходит от такой зоны, как накопительная камера, сообщающаяся с внутренней стороной теплообменных труб, для обеспечения подачи технологической текучей среды в трубы или отведения технологической текучей среды из труб. Альтернативная система включает использование трубчатых коллекторов, расположенных внутри зоны теплообмена, для образования зоны подачи технологической текучей среды: технологическую текучую среду подают в трубчатые коллекторы, откуда она протекает в теплообменные трубы и через них. Аналогично трубчатые коллекторы могут быть обеспечены для отвода технологической текучей среды из труб. Альтернативно можно применять комбинацию трубных решеток и трубчатых коллекторов. Такие трубные решетки или коллекторы в настоящем документе называются разграничительными средствами, поскольку они формируют границы между зоной теплообмена и зонами подачи и отвода технологической текучей среды.

Посредством обеспечения внутренней трубы на теплообменной трубе и посредством соединения трубного уплотнения с разграничительными средствами в

теплообменном реакторе можно компенсировать продольное перемещение, вызванное тепловым расширением и сжатием теплообменных труб.

Во время эксплуатации из-за зоны низкого давления во внутренней трубе среды теплообменника может затягивать внутрь внутренней трубы, где она будет смешиваться с технологической текучей средой, протекающей по внутренней трубе.

Теплообменный реактор может содержать одну или более теплообменных труб, например от 1 до 10 труб, но теплообменные реакторы, например используемые в процессах парового риформинга, могут содержать десятки или даже сотни труб, например от 10 до 2000 труб. Трубы могут иметь внутренний диаметр 25–150 мм, а толщина стенок труб может находиться в диапазоне 2–13 мм в зависимости от размера труб. Длина труб может составлять 5–15 метров. Именно при таких длинах, особенно при длинах 10–15 метров, продольное расширение приносит наибольшие проблемы, если не применять трубное уплотнительное устройство. Трубы могут быть изготовлены из приемлемых металлов, таких как нержавеющая сталь. Теплообменный реактор может содержать одну или более поперечных перегородок, чтобы обеспечить змеевидное перемещение среды теплообменника через зону теплообмена и таким образом улучшить теплообмен.

Трубное уплотнительное устройство содержит внутреннюю трубу. Внутренняя труба может быть соединена с одним концом теплообменной трубы или может быть образована в виде концевой участка теплообменной трубы. Внутренняя труба может иметь такой же диаметр, что и теплообменная труба, или предпочтительно более узкий диаметр, чем теплообменная труба. Внутренняя труба может быть многоугольной или цилиндрической, но предпочтительно она имеет такую форму, чтобы между наружной поверхностью внутренней трубы и внутренней поверхностью трубного уплотнения в зоне перекрытия был образован равномерный зазор. Внутренняя труба имеет внутреннее сужение, формирующее зону низкого давления внутри трубы, и расширенный участок, смежный с зоной сужения, формирующий зону расширения внутри трубы. Один или более каналов, проходящих через стенку внутренней трубы, соединяют зону низкого давления с

наружной стороной внутренней трубы. Может присутствовать от 1 до 20 каналов, соединяющих зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы. Желательно, чтобы каналы располагались на равном расстоянии друг от друга и чтобы они открывались в зазор между внутренней трубой и трубным уплотнением. При эксплуатации устройство ориентировано таким образом, что зона расширения расположена после зоны низкого давления. Например, в вертикальной системе с нисходящим потоком, в которой трубное уплотнительное устройство расположено на самом нижнем конце теплообменной трубы, зона расширения будет находиться ниже сужения во внутренней трубе. Относительные размеры сужения, зоны низкого давления и зоны расширения будут частично зависеть от размера трубы. Например, в одном варианте осуществления, включающем теплообменную трубу с внутренним диаметром примерно 100 мм, часть труб, образующих внутреннюю трубу, может иметь внутренний размер примерно 25 мм и плавно сужаться внутри до сужения с внутренним диаметром примерно 12 мм, открывающегося в зону низкого давления с внутренним диаметром примерно 18 мм и длиной примерно 108 мм. В конце зоны низкого давления внутренняя труба может расширяться от диаметра 18 мм до наружного диаметра примерно 31 мм на длине примерно 78 мм. Между зоной низкого давления и наружной стороной внутренней трубы могут быть обеспечены двенадцать равномерно расположенных каналов диаметром 3 мм.

Между внутренней поверхностью трубного уплотнения и наружной поверхностью внутренней трубы в зоне перекрытия будет существовать зазор, например кольцевой зазор. Таким образом внутренняя труба может свободно перемещаться в продольном направлении внутри трубного уплотнения. Толщина зазора между внутренней поверхностью трубного уплотнения и наружной поверхностью части внутренней трубы теплообменных труб может составлять от примерно 0,1 до 0,5 мм. Например, в варианте осуществления, описанном выше, зазор может составлять примерно 0,2 мм.

Трубное уплотнительное устройство также содержит трубное уплотнение. Трубное уплотнение может быть многоугольным или цилиндрическим, но предпочтительно имеет такую же форму, что и внутренняя труба, чтобы обеспечивать равномерный

зазор. Трубные уплотнительные устройства, содержащие цилиндрические трубные уплотнения и цилиндрические внутренние трубы, являются предпочтительными, поскольку они проще в изготовлении и лучше приспособлены для применения при повышенной температуре под давлением.

Трубное уплотнительное устройство содержит одну или более канавок на внутренней поверхности трубного уплотнения. Одна или более канавок на внутренней поверхности трубного уплотнения образованы на внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы. Одна или более канавок на внутренней поверхности трубного уплотнения могут быть образованы в виде гребней, т. е. иметь квадратную или прямоугольную форму, или канавки могут быть U-образными, V-образными или любой комбинацией этих вариантов. Канавки квадратной или прямоугольной формы могут обеспечивать улучшенную турбулентность в зоне перекрытия.

Канавки могут быть образованы посредством прорезания одного или более каналов во внутреннюю поверхность трубного уплотнительного устройства. Альтернативно канавки могут быть образованы без прорезания, например посредством использования многослойной системы из колец с различными внутренними диаметрами внутри трубного уплотнительного устройства или посредством прокатки бороздчатого профиля в трубном уплотнительном устройстве.

Размер канавок может составлять от 2 до 20 мм в ширину, например от 6 до 14 мм в ширину, и от 1 до 7 мм в глубину в зависимости от размера трубы и толщины стенки трубы. По соображениям прочности желательно, чтобы глубина канавки составляла не более чем примерно 50% толщины стенки трубы. Может присутствовать от 1 до 30 канавок, например от 2 до 25 канавок, предпочтительно от 5 до 20 канавок, расположенных на трубном уплотнении в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы. Это является улучшением по сравнению с устройствами, в которых канавки расположены на внутренней трубе, где количество канавок в этой зоне ограничено размером внутренней трубы до 8 или менее. В случае

размещения канавок на внутренней стенке трубного уплотнения канавки могут выходить за пределы зоны низкого давления.

Дополнительно могут присутствовать одна или более канавок в зоне перекрытия, соответствующей зоне расширения внутренней трубы. Независимо от того, находятся ли одна или более канавок на наружной поверхности внутренней трубы или на внутренней поверхности трубного уплотнения, они также могут быть образованы в виде гребней, т. е. иметь квадратную или прямоугольную форму, или канавки могут быть U-образными, V-образными или любой комбинацией этих вариантов. Размер канавок в этой зоне может также составлять от 2 до 20 мм в ширину, например от 6 до 14 мм в ширину, и от 1 до 7 мм в глубину. В зоне расширения может находиться такое же или большее количество канавок, чем в зоне низкого давления. Например, может присутствовать от 1 до 30 канавок, например от 2 до 25 канавок, предпочтительно от 5 до 20 канавок, расположенных на внутренней поверхности трубного уплотнения или наружной поверхности внутренней трубы в зоне перекрытия, соответствующей зоне расширения внутренней трубы.

Желательно, чтобы одна или более канавок были расположены с возможностью прерывания потока газа через трубное уплотнительное устройство. Одна или более канавок могут быть расположены перпендикулярно потоку технологической текучей среды через внутреннюю трубу, или канавки могут быть образованы по спирали, например в виде винтовой резьбы.

При наличии двух или более канавок в зонах низкого давления или расширения предпочтительно, чтобы они проходили параллельно друг другу.

В изобретении дополнительно предложен способ, включающий стадии: (a) подачи технологической текучей среды в теплообменный реактор, имеющий зону подачи технологической текучей среды, отделенную от зоны теплообмена разграничительным средством; (b) прохождения указанной технологической текучей среды из указанной зоны подачи технологической текучей среды через одну или более теплообменных труб, проходящих через указанную зону теплообмена,

причем указанная технологическая текучая среда подвергается теплообмену со средой теплообменника под более низким давлением, чем технологическая текучая среда, проходящая по трубам в указанной зоне теплообмена; (с) прохождения технологической текучей среды из указанных теплообменных труб в зону отвода технологической текучей среды, отделенную от указанной зоны теплообмена вторым разграничительным средством; (d) дополнительной обработки технологической текучей среды из указанной зоны отвода технологической текучей среды; и (е) прохождения полученной обработанной технологической текучей среды через зону теплообмена в качестве среды теплообменника, причем каждая из указанных одной или более теплообменных труб прикреплена к одному из указанных разграничительных средств и находится в зацеплении с другим из указанных разграничительных средств посредством трубного уплотнительного устройства, при этом трубное уплотнительное устройство содержит трубное уплотнение, прикрепленное к другому из указанных разграничительных средств, и внутреннюю трубу, соединенную с каждой теплообменной трубой и расположенную внутри трубного уплотнения для обеспечения зоны перекрытия, причем указанная внутренняя труба в границах указанной зоны перекрытия имеет (i) сужение внутренней стороны, имеющее уменьшенную площадь поперечного сечения и образующее зону низкого давления, (ii) зону расширения с большей площадью поперечного сечения, чем у зоны сужения, расположенную ниже по направлению потока указанной технологической текучей среды, и (iii) один или более каналов, проходящих через стенку внутренней трубы и соединяющих указанную зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы, причем трубное уплотнительное устройство содержит одну или более канавок, образованных вокруг внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы.

В данном способе часть обработанной технологической текучей среды, подаваемой в зону теплообмена, проходит в трубное уплотнительное устройство и через один или более каналов в зону низкого давления.

В данном способе среда теплообменника представляет собой технологическую текучую среду, которая прошла через трубы, но которая была подвергнута дополнительной обработке перед использованием в качестве среды теплообменника. Эта дополнительная обработка предпочтительно включает стадию, на которой технологическую текучую среду нагревают так, чтобы среда теплообменника передавала тепло одной или более теплообменным трубам.

Трубное уплотнительное устройство особенно полезно в установке теплообменного парового риформинга или установке риформинга с газовым подогревом, т. е. в теплообменном реакторе, содержащем одну или более нагреваемых снаружи труб, содержащих катализатор парового риформинга, через который пропускают сырье для установки риформинга для генерирования синтез-газа, и при этом теплообмен представляет собой среду, используемую для нагрева труб. В таких способах среда теплообменника, как правило, находится под более низким давлением, чем сырье для установки риформинга.

Эти способ и устройство особенно полезны для парового риформинга углеводородов, в котором смесь углеводородного сырья и пара пропускают через теплообменные трубы, которые содержат катализатор парового риформинга, например никельсодержащий катализатор парового риформинга, с образованием первичного конвертированного газа, который впоследствии подвергают частичному сжиганию с кислородсодержащим газом и полученный подвергнутый частичному сжиганию газ применяют в качестве среды теплообменника в зоне теплообмена. Предпочтительно подвергнутый частичному сжиганию газ пропускают через слой вторичного катализатора риформинга, чтобы осуществить дополнительный риформинг, прежде чем использовать его в качестве среды теплообменника.

Сужение во внутренней трубе обуславливает образование зоны низкого давления внутри внутренней трубы: посредством подбора приемлемого размера сужения давление в зоне низкого давления при нормальных условиях эксплуатации можно сделать ниже, чем давление в зоне теплообмена, так чтобы образовался поток среды теплообменника, например продукта вторичного риформинга технологической

текучей среды, поступающей из зоны отвода технологической текущей среды, из зоны теплообмена через зазор между трубным уплотнением и внутренней трубой и через указанные каналы в стенке внутренней трубы в зону низкого давления. После зоны низкого давления технологическая текущая среда расширяется в зоне расширения, в результате чего давление технологической текущей среды становится больше, чем в зоне низкого давления. Следовательно, также может возникнуть обратный поток или рециркуляция технологической текущей среды из выходного конца внутренней трубы через зазор в каналы и в зону низкого давления.

Предпочтительно на разграничительном средстве между зоной теплообмена и зоной отвода технологической текущей среды обеспечивают трубное уплотнительное устройство. Таким образом, трубные уплотнения предпочтительно прикрепляют к этому разграничительному средству, в то время как одну или более теплообменных труб, содержащих внутренние трубы, прикрепляют к разграничительному средству, например трубной решетке, между зоной входа технологической текущей среды и зоной теплообмена. В этой системе внутренние трубы образованы на конце теплообменных труб, смежных с разграничительным средством между зоной теплообмена и зоной отвода технологической текущей среды, и, следовательно, находятся в зацеплении с трубными уплотнениями на этом разграничительном средстве с образованием трубного уплотнительного устройства. Это особенно предпочтительно, когда технологическая текущая среда подвергается значительному падению давления, поскольку она проходит через теплообменные трубы, например когда последние содержат катализатор. Трубные уплотнения могут выступать в зону теплообмена от разграничительного средства или могут проходить назад от разграничительного средства в зону отвода технологической текущей среды на другую сторону от разграничительного средства.

В паровом риформинге углеводородное сырье, как правило, представляет собой метансодержащий газ. В процессе риформинга метан реагирует с паром с образованием водорода и оксидов углерода. Любые присутствующие углеводороды, содержащие два или более атомов углерода, превращаются в метан, монооксид углерода и водород. Реакции парового риформинга протекают в трубах над

катализаторами парового риформинга при температурах выше 350 °С, и, как правило, технологическая текучая среда на выходе из труб имеет температуру в диапазоне от 650 до 950 °С. Среда теплообменника, обтекающая эти трубы снаружи, может иметь температуру в диапазоне от 500 до 2000 °С.

Устройство и способ могут быть использованы как часть процесса получения водорода, метанола, простого диметилового эфира, олефинов, аммиака, мочевины или углеводородных жидкостей, например дизельных топлив, получаемых посредством синтеза Фишера — Тропша. Таким образом, конвертированная газовая смесь, полученная с использованием устройства или способа настоящего изобретения, может быть подвергнута дополнительным стадиям способа, включая стадию отделения водорода, синтеза метанола, синтеза простого диметилового эфира, синтеза олефинов, синтеза аммиака или синтеза углеводородной жидкости. Для выполнения этих шагов могут быть использованы известные процессы.

Хотя приведенное выше описание относится в первую очередь к теплообменному паровому риформингу, следует понимать, что изобретение также может быть полезным в других теплообменных процессах, в которых необходимо компенсировать значительное дифференциальное тепловое расширение и не допустить протекания среды теплообменника в технологическую текучую среду. Примеры включают в себя теплообменники сырья / отходящих потоков, например когда сырье для какой-либо стадии процесса, такой как экзотермическая реакция, например синтез метанола или аммиака, нагревают посредством теплообмена с отходящим потоком с этой стадии процесса. В таких случаях теплообменные трубы могут не содержать катализатор, если только это не требуется, как в вышеупомянутом процессе риформинга, в котором технологическая текучая среда участвует в каталитической реакции с одновременным осуществлением теплообмена.

Изобретение дополнительно проиллюстрировано путем ссылки на прилагаемые чертежи, на которых:

на Фиг. 1 схематически представлено поперечное сечение теплообменного реактора,

включающего в себя трубное уплотнительное устройство в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения, причем разграничительные средства представляют собой трубные решетки; и

на Фиг. 2 представлено поперечное сечение трубного уплотнительного устройства в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

На Фиг. 1 представлена установка теплообменного парового риформинга, имеющая наружный изолированный кожух 10, рассчитанный на высокое давление, который вмещает в себя три зоны 11, 12, 13, образованные стенкой кожуха и трубными решетками 14 и 15. Зона 11, зона подачи технологической текучей среды, образована стенкой 10 кожуха и трубной решеткой 14. Она обеспечена каналом 16 подачи технологической текучей среды и имеет множество вертикальных труб 17, прикрепленных к трубной решетке 14 и проходящих вниз от нее. Количество используемых труб будет зависеть от масштаба производства: хотя на схеме показаны только пять труб, как правило, таких труб может быть 50 или более. Трубы 17 заполняют катализатором 18 парового риформинга, например пористыми цилиндрическими гранулами никелевого катализатора, нанесенного на носитель из огнеупорного оксида, и/или структурированным катализатором парового риформинга. Зона 12, зона теплообмена, образована стенкой 10 кожуха и трубными решетками 14 и 15. Теплообменные трубы 17 проходят через зону 12 теплообмена и находятся в зацеплении с трубными уплотнительными устройствами 20. Каждое из трубных уплотнительных устройств 20 содержит трубное уплотнение 21, прикрепленное к трубной решетке 15, которое находится в зацеплении в зоне 12 теплообмена с не содержащими катализатора секциями 22 внутренней трубы, проходящими от нижней части заполненных катализатором труб 17. В зону 12 теплообмена подают теплоноситель, например синтез-газ, полученный посредством автотермического или вторичного риформинга, по каналу 23, расположенному в кожухе 10 рядом с нижней частью труб 17. Теплоноситель проходит вверх в зону теплообмена, где он обменивается теплом с трубами 17, а затем выводится из зоны 12 теплообмена по каналу 24, расположенному в кожухе 10 рядом с верхней частью труб 17. Поперечные перегородки 25 служат для отведения теплоносителя в горизонтальном направлении через установку риформинга и улучшения его

теплообмена с трубами 17. Зона 13, зона отвода технологической текучей среды, образована стенкой кожуха 10 и трубной решеткой 15. Трубные уплотнительные устройства 20 открыты на концах и проходят через трубную решетку 15 в зону 13 отвода. Конвертированные газы проходят от труб 17 через трубные уплотнительные устройства 20 в зону 13 отвода, из которой они выводятся по каналу 26 для отвода технологической текучей среды.

Во время эксплуатации технологическую текучую среду, содержащую углеводород и пар, подают при повышенной температуре и давлении по каналу 16 в зону 11 подачи технологической текучей среды и после этого вниз через заполненные катализатором трубы 17. В зоне 12 теплообмена происходит теплообмен с теплоносителем и протекают реакции парового риформинга. Газовая смесь, подвергшаяся риформингу, проходит через трубы 17 и после этого через трубные уплотнительные устройства 20 к зоне 13 отвода, из которой она выводится по каналу 26 для отвода. Конвертированный газ, извлеченный из канала 26 для отвода, подвергают дополнительной обработке, в ходе которой его нагревают, в частности посредством автотермического или вторичного риформинга, и дополнительно обработанный газ подают в установку теплообменного риформинга по каналу 23 в качестве среды теплообменника. Давление среды теплообменника, подаваемой по каналу 23, ниже, чем давление газа, проходящего по трубам 17.

На Фиг. 2 представлено трубное уплотнительное устройство 20, ориентированное вертикально и расположенное с возможностью прохождения нисходящего потока через устройство в соответствии с вариантом осуществления, представленным на Фиг. 1. Трубное уплотнительное устройство 20 содержит наружное трубное уплотнение 21 и внутреннюю трубу 22. Внутренняя труба 21 расположена внутри трубного уплотнения 22 для обеспечения зоны перекрытия и может свободно скользить по вертикали. Во время эксплуатации внутренняя труба 22 прикреплена к самому нижнему участку 30 теплообменной трубы. Самая нижняя часть теплообменной трубы 30 и присоединенная часть внутренней трубы 22 имеют внутренний диаметр 25 мм и не содержат катализатор. Внутренняя труба 22 сужается от внутреннего диаметра 25 мм до сужения 31 с внутренним диаметром

12 мм и расширяется от сужения 31 до зоны 32 низкого давления с внутренним диаметром 18 мм и длиной 108 мм. Внутренняя труба расширяется от диаметра 18 мм в зоне 32 низкого давления до наружного диаметра 31 мм в зоне 33 расширения на длине 78 мм. Между зоной 32 низкого давления, расположенной после сужения 31, и кольцевым зазором 35 между внутренней поверхностью трубного уплотнения 21 и наружной поверхностью внутренней трубы 22 предусмотрены двенадцать каналов 34 диаметром 3 мм. Толщина кольцевого зазора 35 между трубным уплотнением 21 и наружной поверхностью внутренней трубы 22 составляет 0,2 мм.

Трубное уплотнение 21 содержит семь параллельных прямоугольных канавок 36 шириной 7 мм, прорезанных на внутренней поверхности трубного уплотнения 21, обращенной к внутренней трубе 22, в зоне перекрытия. Канавки проходят от положения в зоне 32 низкого давления, смежной с каналами 34, вверх по направлению к месту соединения внутренней трубы 22 с самой нижней частью 30 труб теплообменника и за пределы этого места. Можно видеть, что обеспечение канавок таким образом позволяет сделать большее количество канавок, чем если бы они были прорезаны на наружной поверхности внутренней трубы 22.

В этом варианте осуществления прорезаны дополнительные шесть параллельных прямоугольных канавок 37 шириной 7 мм на наружной поверхности внутренней трубы 22 из положения, смежного с каналами 34, вниз по направлению к зоне 33 расширения.

Длины внутренней трубы 22 и трубного уплотнения 21 таковы, что каналы 34 и открытые концы внутренней трубы 22 находятся внутри трубных уплотнений 21 как в момент запуска, т. е. когда устройство находится при температуре окружающей среды, так и при нормальной рабочей температуре.

За пределами конца зоны перекрытия на самой нижней части трубного уплотнения 21 обеспечен фланец 38 для обеспечения возможности крепления трубного уплотнительного устройства 20 к трубной решетке.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Трубное уплотнительное устройство, приемлемое для применения в теплообменном реакторе, содержащем одну или более труб, причем указанное трубное уплотнительное устройство содержит трубное уплотнение и внутреннюю трубу, расположенную внутри трубного уплотнения для обеспечения зоны перекрытия, при этом указанная внутренняя труба имеет в указанной зоне перекрытия (i) сужение внутренней стороны, имеющее уменьшенную площадь поперечного сечения, образующее зону низкого давления, (ii) зону расширения, смежную с зоной сужения, с большей площадью поперечного сечения, чем у зоны сужения, и (iii) один или более каналов, проходящих через стенку внутренней трубы и соединяющих указанную зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы, причем трубное уплотнительное устройство дополнительно содержит одну или более канавок, образованных вокруг внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы..

2. Трубное уплотнительное устройство по п. 1, в котором в зоне перекрытия, соответствующей зоне расширения внутренней трубы, дополнительно обеспечены одна или более канавок.

3. Трубное уплотнительное устройство по п. 2, в котором одна или более канавок в зоне расширения обеспечены на наружной поверхности внутренней трубы или на внутренней поверхности трубного уплотнения, предпочтительно на наружной поверхности внутренней трубы.

4. Трубное уплотнительное устройство по любому из пп. 1–3, содержащее от 1 до 30 канавок, предпочтительно от 5 до 20 канавок, расположенных на трубном уплотнении в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы.

5. Трубное уплотнительное устройство по любому из пп. 1–4, в котором одна или более канавок имеют квадратную или прямоугольную форму, или являются U-

образными, V-образными, или представляют собой любую комбинацию этих вариантов.

6. Трубное уплотнительное устройство по любому из пп. 1–5, в котором одна или более канавок в этой зоне имеют ширину в диапазоне от 2 до 20 мм, предпочтительно от 6 до 14 мм.

7. Теплообменный реактор, содержащий одну или более теплообменных труб, содержащих трубное уплотнительное устройство по любому из пп. 1–6.

8. Теплообменный реактор по п. 7, содержащий зону подачи технологической текучей среды, зону теплообмена и зону отвода технологической текучей среды, первое и второе разграничительные средства, отделяющие указанные зоны друг от друга, одну или более теплообменных труб, прикрепленных к одному из указанных разграничительных средств и проходящих через зону теплообмена, и трубное уплотнительное устройство для каждой теплообменной трубы, причем указанное трубное уплотнительное устройство содержит трубное уплотнение и внутреннюю трубу, при этом трубное уплотнение трубного уплотнительного устройства прикреплено к одному из указанных разграничительных средств и расположено по существу коаксиально с внутренней трубой таким образом, что внутренняя труба находится во взаимодействии с возможностью перемещения путем скольжения со связанным с ней трубным уплотнением, таким образом формируя зону перекрытия.

9. Теплообменный реактор по п. 8, в котором теплообменные трубы содержат катализатор парового риформинга.

10. Теплообменный реактор по п. 8 или п. 9, содержащий одну или более поперечных перегородок в зоне теплообмена.

11. Теплообменный реактор по любому из пп. 8–10, в котором трубное уплотнительное устройство прикреплено к разграничительному средству между зоной теплообмена и зоной отвода.

12. Теплообменный реактор по любому из пп. 8–11 в форме установки

теплообменного парового риформинга, функционально соединенного со средством для частичного сжигания, выполненным с возможностью частичного сжигания технологической текучей среды после прохождения последней через трубы и подачи газа после указанного частичного сжигания в установку теплообменного парового риформинга в качестве среды теплообменника.

13. Теплообменный реактор по п. 12, в котором средство для частичного сжигания включает в себя слой катализатора риформинга, через который проходит подвергнутый частичному сжиганию газ до его подачи в установку теплообменного риформинга в качестве среды теплообменника.

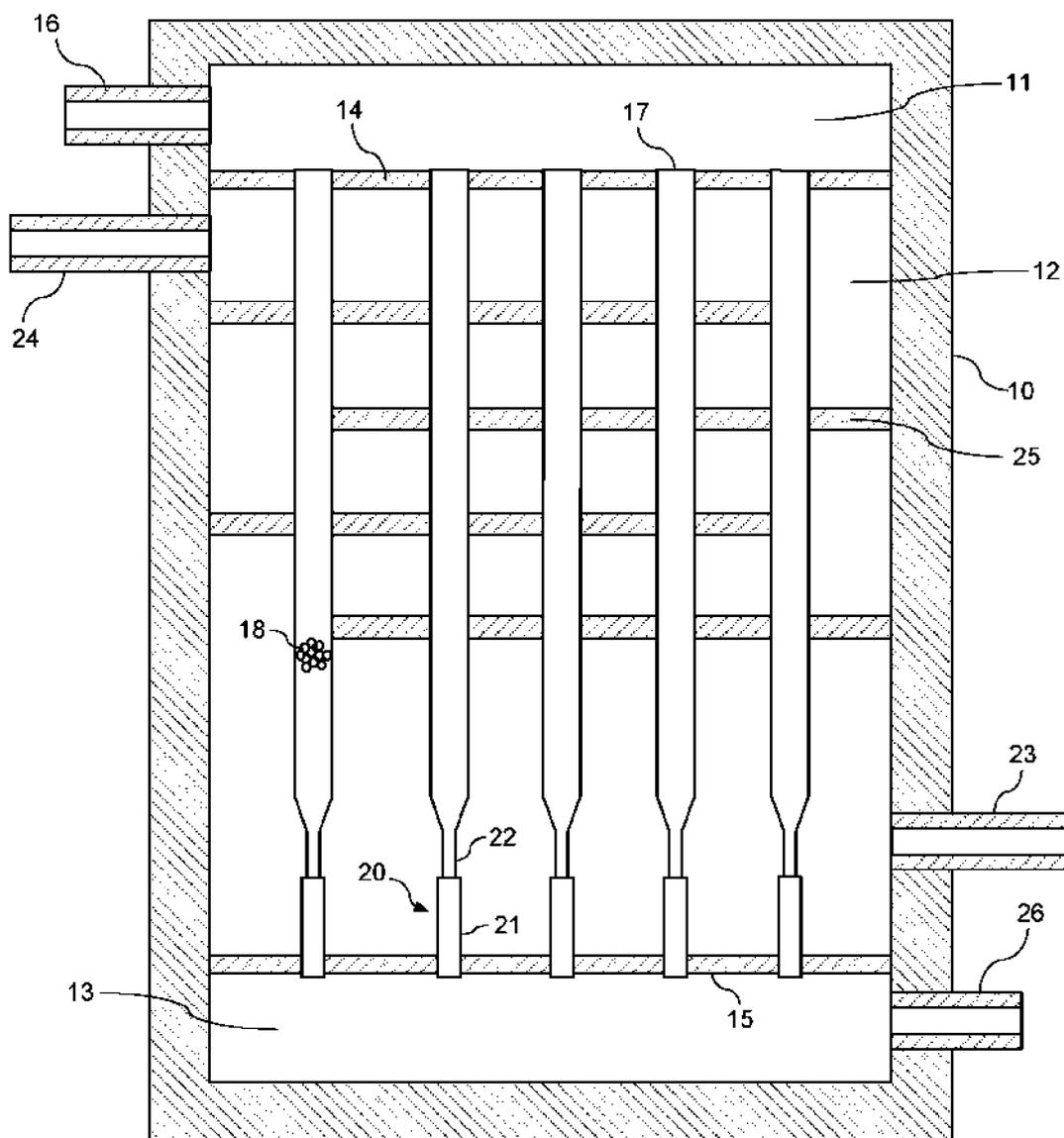
14. Способ, включающий стадии: (а) подачи технологической текучей среды в теплообменный реактор, имеющий зону подачи технологической текучей среды, отделенную от зоны теплообмена разграничительным средством; (b) прохождения указанной технологической текучей среды из указанной зоны подачи технологической текучей среды через одну или более теплообменных труб, проходящих через указанную зону теплообмена, причем указанная технологическая текучая среда подвергается теплообмену со средой теплообменника под более низким давлением, чем технологическая текучая среда, проходящая по трубам в указанной зоне теплообмена; (с) прохождения технологической текучей среды из указанных теплообменных труб в зону отвода технологической текучей среды, отделенную от указанной зоны теплообмена вторым разграничительным средством; (d) дополнительной обработки технологической текучей среды из указанной зоны отвода технологической текучей среды; и (е) прохождения полученной обработанной технологической текучей среды через зону теплообмена в качестве среды теплообменника, при этом каждая из указанных одной или более теплообменных труб прикреплена к одному из указанных разграничительных средств и находится в зацеплении с другим из указанных разграничительных средств посредством трубного уплотнительного устройства, причем трубное уплотнительное устройство содержит трубное уплотнение, прикрепленное к другому из указанных разграничительных средств, и внутреннюю трубу, соединенную с каждой теплообменной трубой и расположенную внутри трубного уплотнения для обеспечения зоны перекрытия, при этом указанная внутренняя труба

в границах указанной зоны перекрытия имеет (i) сужение внутренней стороны, имеющее уменьшенную площадь поперечного сечения и образующее зону низкого давления, (ii) зону расширения с большей площадью поперечного сечения, чем у зоны сужения, расположенную ниже по направлению потока указанной технологической текучей среды, и (iii) один или более каналов, проходящих через стенку внутренней трубы и соединяющих указанную зону низкого давления с наружной стороной внутренней трубы, причем трубное уплотнительное устройство содержит одну или более канавок, образованных вокруг внутренней поверхности трубного уплотнения в зоне перекрытия, соответствующей зоне низкого давления внутренней трубы.

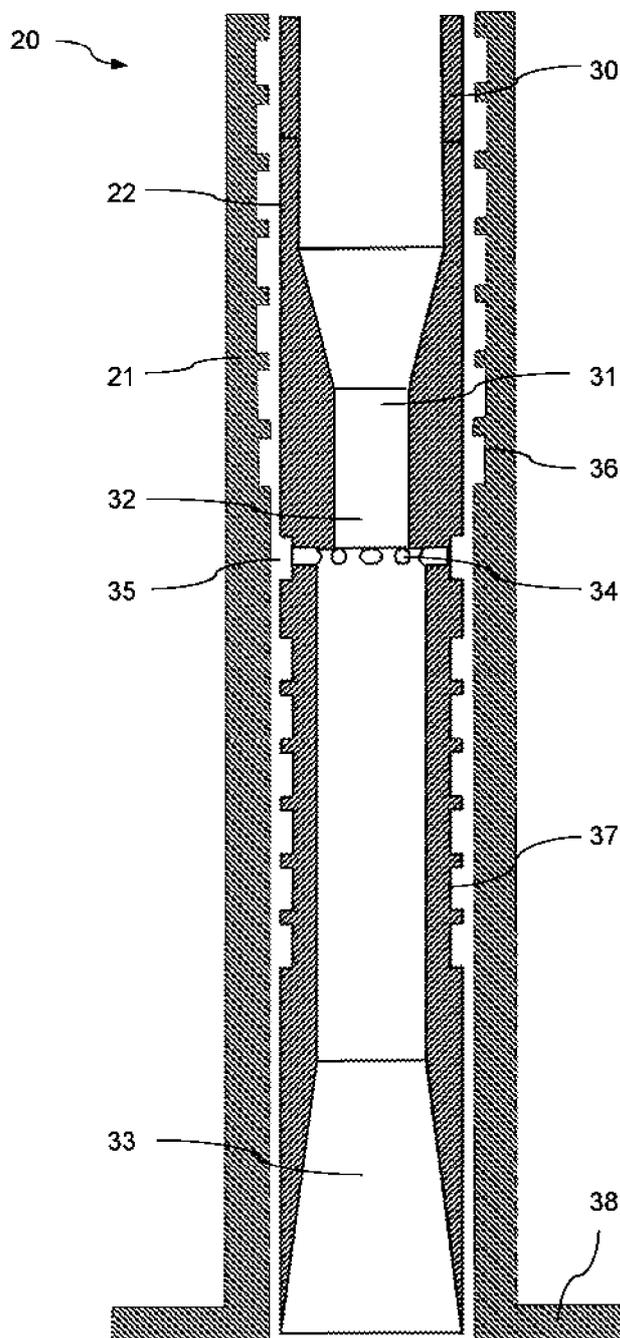
15. Способ по п. 14, в котором теплообменный реактор содержит установку теплообменного риформинга, содержащую одну или более нагреваемых снаружи труб, содержащих катализатор парового риформинга, через который пропускают сырье для установки риформинга для генерирования синтез-газа, и при этом среда теплообменника, используемая для нагрева труб, находится под более низким давлением, чем сырье для установки риформинга.

16. Способ по п. 15, в котором теплообменная установка парового риформинга функционально соединена со средством для частичного сжигания, выполненным с возможностью частичного сжигания технологической текучей среды после прохождения последней через трубы и подачи газа после указанного частичного сжигания в установку теплообменного парового риформинга в качестве среды теплообменника.

17. Способ по п. 16, в котором средство для частичного сжигания включает в себя слой катализатора риформинга, через который проходит подвергнутый частичному сжиганию газ до его подачи в установку теплообменного риформинга в качестве среды теплообменника.



Фиг. 1



Фиг. 2