

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046308**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.02.23

(21) Номер заявки
202390256

(22) Дата подачи заявки
2021.08.09

(51) Int. Cl. **F28D 7/12** (2006.01)
F28D 7/16 (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)
F28F 9/22 (2006.01)

(54) **КОЖУХОТРУБНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК, СПОСОБ ТЕПЛООБМЕНА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА**

(31) **20290061.9**

(32) **2020.08.10**

(33) **EP**

(43) **2023.05.10**

(86) **PCT/EP2021/072144**

(87) **WO 2022/034013 2022.02.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ТЕКНИП ЭНЕРГИС ФРАНС (FR)

(72) Изобретатель:
**Ауд Петер (NL), Намарвар Эсмайл
Махмуди (FR)**

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

(56) CN-A-106839828
US-A1-2020172814
US-A-5314009
US-A1-2009301699

(57) Изобретение относится к кожухотрубному теплообменнику (101), способу применения указанного теплообменника и к системе печи для крекинга углеводородов, содержащей указанный теплообменник. Кожухотрубный теплообменник содержит по меньшей мере спиральную перегородку (7), выполненную с возможностью обеспечения спирального пути потока через корпус (103) кожуха, и выпускную коллекторную трубу (4), которая поддерживает спиральную перегородку и проходит по существу соосно внутри корпуса кожуха, причем выпускная коллекторная труба установлена на вторую трубную решетку (106), ограничивающую корпус (103) кожуха на одном завершающем конце, и проходит через нее, при этом выпускная коллекторная труба (4) отделена от первой трубной решетки (105) на противоположном завершающем конце зазором, который обеспечивает возможность выхода текучей среды (F2) со стороны кожуха из корпуса (103) кожуха.

046308
B1

046308
B1

Область техники и уровень техники

Настоящее изобретение относится к кожухотрубному теплообменнику, способу теплообмена между первой текучей средой и второй текучей средой и применению теплообменника в качестве закалочного-испарительного аппарата в системе печи для крекинга углеводородов.

Кожухотрубные теплообменники составляют популярный класс теплообменников, например, вследствие широкой применимости в широком диапазоне давлений и температур. Кожухотрубные теплообменники обычно используются в энергетике и нефтехимической промышленности. Как правило, кожухотрубные теплообменники содержат одну или более теплообменных труб, установленных внутри цилиндрического кожуха, что обеспечивает возможность теплообмена двух текучих сред, причем первая текучая среда протекает через сами трубы, тогда как вторая протекает вне этих труб.

Общая проблема известных кожухотрубных теплообменников, например такого типа, в котором пространство кожуха содержит продольные и/или поперечные перегородки, состоит в том, что они имеют неравномерное распределение потока, в частности, на стороне кожуха таких теплообменников. Области неравномерного распределения потока в пределах одной стороны могут приводить к неравномерной, медленной или даже недостаточной теплопередаче к текучей среде другой стороны. Неравномерное распределение потока и сопутствующий неравномерный теплообмен, как правило, являются результатом помех на пути потока внутри кожуха. Как правило, это выражается в виде вихрей, создаваемых при прохождении текучей среды над задним краем перегородки или под ним. В качестве альтернативы или дополнительно, профили потока внутри кожуха могут быть особенно нарушены при входе текучей среды в кожух или при выходе из него, например, на впускном или выпускных отверстиях. В результате одного или более из вышеуказанных недостатков свойства продукта и/или сырья или технологической среды на стороне трубы и/или стороне кожуха могут ухудшаться. В качестве альтернативы или дополнительно, производительность теплообменника может ухудшаться, например, вследствие загрязнения, вызываемого неправильным распределением технологического потока или деградацией технологической среды, например, вследствие перегрева в результате неоптимальной теплопередачи.

Для улучшения распределения потока был предложен теплообменник со спиральной или винтовой перегородкой. В US 2009301699 раскрыт теплообменник, включающий в себя кожух, имеющий впускное отверстие для текучей среды и выпускное отверстие для текучей среды, а также множество перегородок, установленных в кожухе для направления текучей среды по винтовой схеме потока через кожух. В US 200880190593 раскрыт кожухотрубный теплообменник с одним кожухом, а также кожухотрубный теплообменник с несколькими кожухами, включающий в себя кожух, имеющий впускное отверстие для текучей среды и выпускное отверстие для текучей среды с не непрерывной винтовой перегородкой, например, сращенными участками перегородки. Недостатком является то, что установление равномерного распределения потока в кожухах теплообменников в соответствии с типами, описанными в US 2009301699 и US 200880190593, остается сложной задачей, в частности вокруг центральной линии, например, вдоль центральной части кожуха вблизи противоположных концов сращенных перегородок. Для улучшения распределения потока было предложено устанавливать перегородку на центральную опору. В CN 100386586 С раскрыт теплообменник, включающий в себя кожух, имеющий впускное отверстие для текучей среды и выпускное отверстие для текучей среды, а также содержащий центральный сердечник, на котором устанавливается перегородка для обеспечения винтового пути потока вокруг указанного сердечника. Однако обменники с таким центральным сердечником остаются подверженными помехам вблизи впускного/выпускного отверстий кожуха и также механическим напряжениям, которыми трудно управлять вследствие теплового расширения благодаря разности температур между стенками со стороны кожуха и со стороны трубы, поскольку центральный сердечник поддерживается соседними трубными решетками и не может свободно расширяться.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение направлено на предложение кожухотрубного теплообменника, который устраняет одну или более из вышеупомянутых проблем. В качестве альтернативы или дополнительно, настоящее изобретение направлено на предложение кожухотрубного теплообменника, имеющего улучшенное распределение потока и/или иным образом улучшенную производительность, например, с точки зрения загрязнения, по отношению к известным кожухотрубным теплообменникам.

Аспекты настоящего изобретения относятся к кожухотрубному теплообменнику. В процессе эксплуатации кожухотрубный теплообменник способствует теплообмену между текучей средой со стороны трубы и текучей средой со стороны кожуха. Кожухотрубный теплообменник содержит первую трубную решетку; вторую трубную решетку и корпус кожуха. Корпус кожуха снабжен впускным соплом со стороны кожуха. Противоположные завершающие концы корпуса кожуха ограничены первой и второй трубными решетками. Кожухотрубный теплообменник также содержит одну или более теплообменных труб. Указанные одна или более теплообменных труб проходят через корпус кожуха от первой трубной решетки ко второй трубной решетке, таким образом обеспечивая соединение по текучей среде, например, для текучей среды со стороны трубы, через теплообменные трубы через корпус кожуха.

Кожухотрубный теплообменник также содержит спиральную перегородку. Спиральная перегородка размещена внутри корпуса кожуха между трубными решетками и проходит по винтовой траектории,

центр вращения которой по существу выровнен с центральной линией корпуса кожуха. Как правило, указанные одна или более теплообменных труб проходят через спиральную перегородку. Спиральная перегородка выполнена с возможностью обеспечения винтового пути потока через корпус кожуха дальше по потоку от впускного сопла со стороны кожуха к первой трубной решетке.

Кроме того, кожухотрубный теплообменник снабжен выпускной коллекторной трубой. Выпускная коллекторная труба проходит по существу соосно внутри корпуса кожуха, т.е. ее центральная линия по существу выровнена с центральной линией корпуса кожуха. Выпускная коллекторная труба поддерживает спиральную перегородку по меньшей мере по существу вдоль всей длины перегородки таким образом, что винтовой путь потока направляется вдоль наружной поверхности выпускной коллекторной трубы.

Выпускная коллекторная труба установлена на вторую трубную решетку и проходит через нее. Выпускная коллекторная труба отделена от первой трубной решетки зазором, расположенным дальше по потоку от винтового пути потока. Предпочтительно выпускная коллекторная труба отсоединена от первой трубной решетки. В процессе эксплуатации зазор обеспечивает возможность входа текучей среды со стороны кожуха во впускное отверстие коллекторной трубы, которое обращено к первой трубной решетке через зазор. Текучая среда со стороны кожуха может проходить через выпускную коллекторную трубу для выхода из корпуса кожуха, например через выпускное сопло со стороны кожуха, которое обеспечено на завершающем конце выпускной коллекторной трубы напротив впускного отверстия коллекторной трубы.

Кожухотрубный теплообменник, содержащий спиральную перегородку и выпускную коллекторную трубу в соответствии с настоящим изобретением, в качестве преимущества улучшает распределение скорости, уменьшает размер и/или количество вихрей и/или уменьшает размер и/или количество застойных областей внутри кожухотрубного теплообменника во время эксплуатации, в частности в пределах его пространства со стороны кожуха.

Улучшенное распределение скорости и/или уменьшенные застойные области и вихри на стороне кожуха уменьшают деградацию технологической среды, например, чувствительной к температуре среды, такой как горячее сырье печи для крекинга углеводородов. Такое горячее сырье в областях с низкой скоростью и относительно застойных областях, создаваемых вихрями, может перегреваться путем теплообмена с текучей средой со стороны трубы до такой степени, что преобразование сырья будет достаточно высоким для создания отложений кокса на поверхности горячей трубы, что приведет к загрязнению теплообменника и, следовательно, к снижению эффективности и, в конечном итоге, к очистке теплообменника. Кроме того, улучшенное распределение потока улучшает теплопередачу между текучей средой со стороны кожуха и текучей средой со стороны трубы и, таким образом, повышает эффективность кожухотрубного теплообменника и уменьшает размер оборудования. В качестве альтернативы или дополнительно, выпускная коллекторная труба в соответствии с настоящим изобретением обеспечивает возможность свободного теплового расширения или сжатия во время эксплуатации, например, вследствие тепловых градиентов между трубами и выпускной коллекторной трубой. Это упрощает изготовление, поскольку сильфонные компенсаторы на выпускной коллекторной трубе могут быть опущены. Сильфоны на выпускной коллекторной трубе могут дополнительно отрицательно влиять на производительность кожухотрубного теплообменника, поскольку сильфоны подвержены загрязнению и, как правило, нарушают профиль потока.

Дополнительные аспекты настоящего изобретения относятся к способу теплообмена между первой текучей средой и второй текучей средой, включающему направление текучей среды со стороны трубы через одну или более теплообменных труб кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением и направление текучей среды со стороны кожуха через корпус кожуха кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением.

Теплообменник и способ могут быть использованы с особым преимуществом в химическом промышленном применении, предпочтительно, в применении крекинга углеводородов, например, для быстрого и эффективного охлаждения технологического потока крекированных углеводородов, выходящего из установки для крекинга углеводородов. Например, в обеспечивающем преимуществе варианте осуществления кожухотрубный теплообменник (101) используется в качестве закалочно-испарительного аппарата для охлаждения технологического потока крекированных углеводородов из радиантного змеевика печи для крекинга. Соответственно, настоящее изобретение также относится к системе печи для крекинга углеводородов, содержащей кожухотрубный теплообменник в соответствии с настоящим изобретением, и к применению кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением в качестве закалочно-испарительного аппарата, например, в системе для крекинга углеводородов для производства этилена или других мономеров.

Перечень чертежей

Эти и другие признаки, аспекты и преимущества устройства, систем, применения и способов в соответствии с настоящим изобретением станут более понятными из последующего описания, прилагаемой формулы изобретения и сопроводительных чертежей, на которых

на фиг. 1А и фиг. 1В проиллюстрированы вид сбоку и вид сбоку в разрезе варианта осуществления кожухотрубного теплообменника;

на фиг. 2А и фиг. 2В показаны подробные виды варианта осуществления кожухотрубного теплообменника;

на фиг. 3 проиллюстрирован вид сверху в разрезе варианта осуществления кожухотрубного теплообменника; и

на фиг. 4 проиллюстрирована система печи для крекинга для производства этилена и других мономеров, содержащая кожухотрубный теплообменник.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Терминология, используемая для описания конкретных вариантов осуществления, не предназначена для ограничения настоящего изобретения. Используемые в настоящем документе формы в единственном числе предназначены также для включения форм во множественном числе, если контекст явно не указывает иное. Термин "и/или" включает в себя любые и все комбинации одного или более из связанных перечисленных элементов. Следует понимать, что термины "содержит" и/или "содержащий" указывают на наличие указанных признаков, но не исключают наличия или добавления одного или более других признаков. Кроме того, следует понимать, что когда конкретный этап способа упоминается как следующущий за другим этапом, он может непосредственно следовать за указанным другим этапом или перед выполнением конкретного этапа могут быть выполнены один или более промежуточных этапов, если не указано иное. Аналогичным образом, следует понимать, что при описании соединения между структурами или компонентами это соединение может быть установлено непосредственно или через промежуточные структуры или компоненты, если не указано иное.

Изобретение более подробно описано ниже со ссылкой на сопроводительные чертежи, на которых показаны варианты осуществления настоящего изобретения. На чертежах для ясности могут быть увеличены абсолютные и относительные размеры систем, компонентов, слоев и областей. Варианты осуществления могут быть описаны со ссылкой на схематичные иллюстрации и/или иллюстрации в разрезе, возможно, идеализированных вариантов осуществления и промежуточных структур настоящего изобретения. На всем протяжении описания и чертежей подобные обозначения относятся к подобным элементам. Относительные термины, а также их производные следует толковать как относящиеся к ориентации, как описано или как показано на рассматриваемом чертеже. Эти относительные термины предназначены для удобства описания и не требуют, чтобы система была сконструирована или эксплуатировалась в конкретной ориентации, если не указано иное.

На фиг. 1А показан вид сбоку варианта осуществления кожухотрубного теплообменника 101, в котором для обеспечения вида внутренней части опущена часть корпуса 103 кожуха, обращенная к этому виду. На фиг. 1В показан вид сбоку в разрезе по плоскости А-А варианта осуществления, показанного на фиг. 1А. Как показано, вариант осуществления содержит первую трубную решетку 105, вторую трубную решетку 106 и корпус 103 кожуха с впускным соплом 6 со стороны кожуха. Противоположные завершающие концы корпуса 103 кожуха ограничены первой трубной решеткой 105 и второй трубной решеткой 106. Кожухотрубный теплообменник также содержит одну или более теплообменных труб 5, проходящих через корпус (103) кожуха от первой трубной решетки (105) ко второй трубной решетке (106). Кожухотрубный теплообменник также содержит спиральную перегородку 7, выпускную коллекторную трубу 4 с впускным отверстием 8 коллекторной трубы и выпускным соплом 3 со стороны кожуха. Спиральная перегородка 7 проходит по винтовой траектории, центр вращения которой по существу выровнен с центральной линией корпуса кожуха. Как показано, спиральная перегородка выполнена с возможностью обеспечения винтового пути потока, например для текучей среды F2 со стороны кожуха через корпус 103 кожуха дальше по потоку от впускного сопла 6 со стороны кожуха к первой трубной решетке 105.

Как правило, спиральная перегородка 7 проходит по меньшей мере один полный поворот на 360°, так называемый шаг. Обеспечение по меньшей мере одного полного поворота обеспечивает прохождение пути потока вдоль каждой из указанных одной или более теплообменных труб 5 вдоль ее винтовой траектории. Предпочтительно, например, как показано, спиральная перегородка 7 содержит множество поворотов, например, более пяти поворотов или более, например, в диапазоне от 2 до 25 или в диапазоне от 5 до 20. Большее количество поворотов, как правило, увеличивает общий теплообмен между текучими средами со стороны трубы и со стороны кожуха, но увеличивает сложность изготовления. Кроме того, кожухотрубный теплообменник 101 содержит выпускную коллекторную трубу 4, которая проходит по существу соосно внутри корпуса кожуха и поддерживает спиральную перегородку 7. Предпочтительно спиральная перегородка 7 поддерживается вдоль своей длины выпускной коллекторной трубой 4, например, наружной поверхностью выпускной коллекторной трубы 4 таким образом, что винтовой путь потока направляется вдоль наружной поверхности выпускной коллекторной трубы 4. Предпочтительно перегородка проходит до корпуса 103 кожуха, поскольку это уменьшает поток утечки, например, текучей среды F2 со стороны кожуха, между перегородкой и внутренней стенкой корпуса 103 кожуха. Как показано, перегородки не соединены непосредственно с кожухом, т.е. отсоединены от корпуса 103 кожуха или не прикреплены непосредственно к кожуху. Предпочтительно указанные одна или более теплообменных труб проходят через спиральную перегородку. Предпочтительно эти трубы расположены в виде множества слоев, окружающих выпускную коллекторную трубу 4 и проходящих к внутренней стенке

корпуса 103 кожуха для того, чтобы максимально занимать доступное пространство между внутренней стенкой корпуса кожуха и наружной стенкой коллекторной трубы.

Выпускная коллекторная труба 4, например, как показано, содержит впускное отверстие 8 коллекторной трубы и выпускное сопло 3 со стороны кожуха, обеспеченные на противоположных концах выпускной коллекторной трубы 4 и обеспечивающие соединение по текучей среде между ними по полой внутренней части этой трубы. Выпускная коллекторная труба 4 установлена на вторую трубную решетку 106 и проходит через нее, посредством чего выпускная коллекторная труба 4, например, завершающий конец с впускным отверстием 8 коллекторной трубы, отделена от первой трубной решетки 105 зазором, расположенным дальше по потоку от винтового пути потока. Этот зазор обеспечивает возможность входа текучей среды F2 со стороны кожуха во впускное отверстие 8 коллекторной трубы, обращенное к первой трубной решетке 105 через зазор, а также возможность ее выхода из корпуса 103 кожуха через выпускное сопло 3 со стороны кожуха, обеспеченное на завершающем конце коллекторной трубы 4, противоположном впускному отверстию 8 коллекторной трубы. Следует понимать, что прохождение выпускной коллекторной трубы 4 через вторую трубную решетку 106, например, как показано, обеспечивает возможность выхода текучей среды F1 со стороны трубы из стороны кожуха без образования мертвых зон, вихрей или застойных областей, что может приводить к перегреву и последующему загрязнению стороны кожуха теплообменника.

Кожухотрубный теплообменник предпочтительно устанавливается вертикально, как показано на фиг. 1А и 1В. Более предпочтительно вторая трубная решетка 106 расположена над первой трубной решеткой 105.

Выпускная коллекторная труба 4, соединенная с одной трубной решеткой, предпочтительно с верхней трубной решеткой в случае вертикальной ориентации, и отсоединенная от другой, в процессе эксплуатации может в качестве преимущества свободно расширяться или сжиматься, например, вследствие теплового градиента между выпускной коллекторной трубой 4 и внешними стенками труб 5. Это в качестве преимущества позволяет исключить сильфонные компенсаторы на выпускной коллекторной трубе 4. Поддержка перегородок выпускной коллекторной трубой 4, соединенной с одной трубной решеткой, при сохранении перегородок, отсоединенных от корпуса 103 кожуха, обеспечивает возможность свободного теплового расширения в направлении между противоположными трубными решетками 105, 106.

Напротив, такие сильфоны потребуются для обеспечения возможности теплового расширения в таких вариантах осуществления, в которых выпускная коллекторная труба 4 соединена с обоих концов с кожухотрубным теплообменником 101, например, с обеими трубными решетками. Сильфоны на выпускной коллекторной трубе 4 могут дополнительно отрицательно влиять на производительность теплообменника, поскольку такие сильфоны подвержены загрязнению и/или нарушают профиль потока, например текучей среды F2 со стороны кожуха, по винтовому пути потока, а также внутри выпускной коллекторной трубы 4.

Впускное сопло 6 со стороны кожуха предпочтительно расположено таким образом, чтобы впрыскивать поток текучей среды F2 со стороны кожуха вблизи второй трубной решетки 106 или рядом с ней. Для этого впускное сопло 6 со стороны кожуха предпочтительно установлено рядом со второй трубной решеткой 106 или вблизи нее, например, для впрыскивания текучей среды F2 со стороны кожуха в первый шаг спиральной перегородки 7, например, как показано. В качестве альтернативы, текучую среду F2 со стороны кожуха могут впрыскивать в объем, расположенный раньше по потоку от спиральной перегородки 7. Введение текучей среды F2 со стороны кожуха в первый шаг спиральной перегородки 7 уменьшает образование мертвого объема или мертвого пространства между второй трубной решеткой 106 и перегородкой.

Эти признаки наряду с другими или дополнительными признаками будут более подробно описаны ниже со ссылкой на фиг. 1-3.

Следует понимать, что указанные одна или более теплообменных труб, проходящих через корпус 103 кожуха, через пространство 108 на стороне кожуха, от первой трубной решетки 105 ко второй трубной решетке 106, как правило, проходят через спиральную перегородку 7, например, через одно или более соответствующих отверстий, обеспеченных в спиральной перегородке 7. Аналогичным образом, следует понимать, что кожухотрубный теплообменник 101 предпочтительно содержит множество теплообменных труб 5. Для облегчения понимания внутренней конструкции кожухотрубного теплообменника 101 изображена только часть теплообменных труб 5. Вместо этого, наличие множества труб может быть выведено из наличия множества отверстий 21, размер и форма которых соответствуют изображенным одной или более теплообменным трубам 5, см., например, фиг. 2А. Предпочтительно трубы выровнены в осевом направлении. С этой целью спиральная перегородка предпочтительно снабжена в пределах каждого шага соответствующим количеством отверстий, выполненных и расположенных таким образом, чтобы обеспечивать возможность следования указанных одной или более труб по существу прямой траектории между первой и второй трубными решетками. В качестве альтернативы, теплообменные трубы 5 могут быть образованы вокруг спиральной перегородки 7. Обеспечение по существу прямых теплообменных труб, например, при отсутствии в них разворотов, изгибов и/или трубных соединений, в качестве преимущества снижает падение давления в каждой трубе и/или улучшает профиль скорости текучей сре-

ды как внутри трубы, т.е. со стороны труб, так и улучшает профиль скорости текучей среды, находящейся в контакте с наружной поверхностью трубы, т.е. со стороны кожуха. Кожухотрубный теплообменник в соответствии с настоящим изобретением особенно полезен в качестве оборудования для системы печи для крекинга углеводородов; он предпочтительно выполнен с возможностью теплопередачи от крекированного углеводородного продукта к углеводородному сырью, подлежащему подаче в радиантный змеевик печи для крекинга углеводородов, например, как показано на фиг. 4. Как правило, крекированный газообразный углеводородный продукт (текучая среда со стороны трубы) содержит частицы кокса, которые потенциально вызывают эрозию. Для предотвращения эрозии предпочтительными являются прямые трубы, например, в которых отсутствуют развороты, изгибы и/или трубные соединения. Еще более предпочтительно, существует только один трубный проход, так что частицы кокса входят в теплообменник с одного завершающего конца и выходят с другого завершающего конца без поворота, как показано на фиг. 1А и В.

Аналогичным образом, следует понимать, что теплообменные трубы предпочтительно распределены равномерно вокруг выпускной коллекторной трубы 4 и по существу параллельно ей. В этой связи можно сослаться на фиг. 3, на которой показан вид в разрезе по плоскости В-В, как показано на фиг. 2В. В частности, можно видеть, что трубы предпочтительно не проходят внутрь выпускной коллекторной трубы 4, т.е. во внутреннее пространство выпускной коллекторной трубы 4. Другими словами, теплообменные трубы 5 предпочтительно распределены исключительно внутри корпуса кожуха и снаружи выпускной коллекторной трубы.

Как показано во всех отношениях для кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением, можно считать, что он образует конструкцию с одним кожухом, в которой тепло обменивается с текучей средой со стороны трубы в одном и противоположном направлении. Настоящая конструкция в качестве преимущества обеспечивает возможность так называемого пересечения температурных графиков, за счет которого температура на выпускном отверстии со стороны кожуха превышает температуру на выпускном отверстии со стороны трубы. Например, если температура на впускном отверстии со стороны кожуха составляет 350°C, требуемая температура на выпускном отверстии со стороны кожуха составляет 600°C, температура на впускном отверстии со стороны трубы составляет 800°C, а температура на выпускном отверстии со стороны трубы составляет 550°C, требуемый параметр LMTD (logarithmic mean temperature difference, среднелогарифмический температурный напор) составляет 200°C. Было обнаружено, что параметр LMTD может быть еще ниже. Это является отличием от конструкций с двумя кожухами, как раскрыто в CN 106839828 А и CN 100386586, которые имеют два прохода на стороне кожуха, посредством которых тепло обменивается с текучей средой со стороны трубы. Пересечение температурных графиков, как правило, невозможно в конструкциях, которые не работают в противоположной компоновке, такими как конструкции с двумя кожухами, как раскрыто в CN 106839828 А и CN 100386586, которые включают в себя секцию теплообмена параллельных потоков.

Предпочтительно, например, как показано, каждая теплообменная труба представляет собой непрерывную трубу, например одну секцию труб, проходящую по длине между противоположными трубными решетками. В качестве альтернативы, теплообменная труба или часть теплообменных труб может быть образована соединенными секциями труб, например, продольными половинами труб и/или секциями труб. Образование одной или более теплообменных труб из секций может упрощать производственный процесс, например, путем сварки секций труб между последовательными соответствующими витками спиральной перегородки. Обеспечение непрерывной теплообменной трубы может снижать неровность внутренней поверхности трубы, например, благодаря избеганию переходов, таких как сварные швы, между соединенными секциями. Считается, что по сравнению с неровными и/или изогнутыми трубами такая непрерывная и/или по существу прямая теплообменная труба 5 снижает скорость загрязнения.

Следует понимать, что положение или ориентация впускного сопла 1 со стороны трубы и/или выпускного сопла 2 со стороны трубы не должны быть истолкованы, как ограничивающие до положения и/или ориентации, показанных на фиг. 1. Например, в некоторых вариантах осуществления впускное сопло 1 со стороны трубы и выпускное сопло 2 со стороны трубы расположены напротив друг друга таким образом, что образуют по существу прямой путь потока между ними. Для данного потока более прямые пути потока по сравнению с более криволинейным путем потока в качестве преимущества приводят к более низкому падению давления.

В предпочтительном варианте осуществления, например, как показано, кожухотрубный теплообменник дополнительно содержит впускную головку 102 с впускным соплом 1 со стороны трубы и выпускную головку 104 для текучей среды со стороны трубы с выпускным соплом 2 со стороны трубы, причем головки выполнены вдоль противоположных завершающих концов корпуса 103 кожуха. Первая трубная решетка 105, также называемая впускной трубной решеткой со стороны трубы, отделяет пространство головки, определяемое впускной головкой 102, от пространства 108 со стороны кожуха, определяемого внутри корпуса 103 кожуха. Вторая трубная решетка 106, также называемая выпускной трубной решеткой со стороны трубы, отделяет пространство головки, определяемое выпускной головкой 104, от пространства 108 со стороны кожуха. Указанные одна или более теплообменных труб 5 установлены в обеих трубных решетках таким образом, что впускная головка 102 трубы и и выпускная головка 104 тру-

бы соединены по текучей среде посредством по меньшей мере одной трубы. Как показано, указанные одна или более теплообменных труб 5 проходят через корпус 103 кожуха и через пространство 108 со стороны кожуха от первой трубной решетки 105 ко второй трубной решетке 106, таким образом определяя пространство 107 со стороны трубы кожухотрубного теплообменника 101. В вариантах осуществления, содержащих выпускную головку 104 для текучей среды со стороны трубы, такие варианты осуществления предпочтительно выполнены таким образом, что выпускная коллекторная труба 4 также проходит через выпускную головку 104 для текучей среды со стороны трубы, например, как показано. Выпускная головка 104 для текучей среды со стороны трубы может быть присоединена, например, приварена, к стенке выпускной коллекторной трубы 4 или выпускного сопла 3 со стороны кожуха. В качестве альтернативы, выпускная головка 104 для текучей среды со стороны трубы может быть размещена вокруг выпускной коллекторной трубы или выпускного сопла со стороны кожуха.

В другом или дополнительном предпочтительном варианте осуществления впускное отверстие коллекторной трубы снабжено первичным устройством 15 для обтекания. На фиг. 2В показан подробный вид участка кожухотрубного теплообменника 101, показанного на фиг. 1В, на котором изображено такое устройство 15 для обтекания. В других или дополнительных предпочтительных вариантах осуществления кожухотрубный теплообменник 101 содержит вторичное устройство 9 для обтекания, которое обеспечено на первой трубной решетке 105 напротив впускного отверстия 8 коллекторной трубы. Как первичное, так и вторичное устройство подавляют образование больших вихрей и застойных областей на входе в коллектор. Оба устройства 15, 9 для обтекания выполнены с возможностью плавного направления текучей среды F2 со стороны кожуха в выпускную коллекторную трубу 4 после прохождения через концевой участок спиральной перегородки 7. Оба устройства 15, 9 для обтекания дополнительно уменьшают, например, предотвращают образование вихрей и относительно застойных областей, в частности, в областях стороны кожуха вблизи первой трубной решетки 105. Таким образом, каждое устройство для обтекания способствует улучшению характеристик теплообменника за счет улучшения распределения потока текучей среды F2 со стороны кожуха по указанным одной или более теплообменным трубам 5, в частности, в местоположении вблизи входа в выпускную коллекторную трубу. В то время как первичные и вторичные устройства для обтекания могут быть обеспечены индивидуально, заявитель, в частности, для дальнейшего улучшения характеристик теплообменника представляет кожухотрубный теплообменник 101, содержащий оба устройства 15, 9 для обтекания.

В одном варианте осуществления первичное устройство (15) для обтекания выполнено с возможностью направления текучей среды (F2) со стороны кожуха в выпускную коллекторную трубу (4).

Первичное устройство 15 для обтекания предпочтительно выполнено из впускной части, установленной или образованной на конце выпускной коллекторной трубы 4 с впускным отверстием 8 коллекторной трубы. Впускная часть предпочтительно имеет форму конуса или раструба, имеющего боковую стенку, которая проходит наружу к соединению между первой трубной решеткой 105 и корпусом 103 кожуха. Форма наподобие конуса или наподобие раструба дополнительно способствует уменьшению мертвого объема или мертвого пространства. Поверхность впускной части предпочтительно выполнена с возможностью плавного направления текучей среды F2 со стороны кожуха, например, за счет наличия крылообразного поперечного сечения, как показано. Подобно спиральной перегородке 7 первичное устройство 15 для обтекания может быть выполнено с отверстиями или каналами для указанных одной или более теплообменных труб 5, проходящих через него.

В предпочтительном варианте осуществления первичное устройство для обтекания представляет собой впускную часть, имеющую форму наподобие конуса или раструба, с тем чтобы плавно направлять поток текучей среды F2 со стороны кожуха в выпускную коллекторную трубу 4. Вторичное устройство 9 для обтекания, как правило, представляет собой выступ, обеспеченный или сформированный из первой трубной решетки 105 и имеющий боковые стенки, которые расположены с возможностью направления потока текучей среды F2 со стороны кожуха к впускному отверстию выпускной коллекторной трубы 4.

В одном варианте осуществления, например, как показано на фиг. 1А-В и 2В, вторичное устройство 9 для обтекания может быть в целом описано как конусообразный выступ, причем боковые стенки выступа выполнены с возможностью направления потока текучей среды F2 со стороны кожуха, например бокового потока вдоль первой трубной решетки 105, к впускному отверстию коллекторной трубы.

Соответственно, в одном варианте осуществления кожухотрубный теплообменник содержит вторичное устройство 9 для обтекания, обеспеченное на первой трубной решетке 105 напротив впускного отверстия 8 коллекторной трубы.

В предпочтительном варианте осуществления вторичное устройство 9 для обтекания представляет собой выступ, обеспеченный для первой трубной решетки 105 в положении, противоположном впускному отверстию 8 коллекторной трубы, причем выступ имеет боковые стенки, форма которых выполнена с возможностью плавного направления потока текучей среды F2 со стороны кожуха в направлении вдоль первой трубной решетки 105 в выпускную коллекторную трубу 4.

В другом или дополнительном предпочтительном варианте осуществления вторичное устройство 9 для обтекания представляет собой конусообразный выступ.

В качестве альтернативы или дополнительно, третичное устройство 16 для обтекания может быть

обеспечено вдоль внутреннего соединения в углу между корпусом 103 кожуха и впускной головкой 102, боковые стенки которого выполнены с возможностью обеспечения наклонной внутрь поверхности, выполненной с возможностью направления текучей среды F2 со стороны кожуха от указанного угла к впускному отверстию коллекторной трубы.

В других или дополнительных вариантах осуществления, например, как показано, спиральная перегородка 7 представляет собой непрерывную спиральную перегородку. Можно понимать, что непрерывная спиральная перегородка относится к спиральной перегородке, которая обеспечивает по существу непрерывный винтовой путь потока вдоль по существу всей длины перегородки, предпочтительно вдоль по существу всей длины выпускной коллекторной трубы от второй трубной решетки 106 к ее завершающему концу, обращенному к первой трубной решетке 105. Непрерывная спиральная перегородка обеспечивает улучшенное распределение скорости или уменьшает вихри и/или застойные области вдоль по существу всей длины спиральной перегородки 7, поскольку непрерывная перегородка избегает образования следа, который обычно возникает дальше по потоку от задней кромки сегментированной или сращенной перегородки и любого другого типа перегородки, такой как обычные отражающие перегородки. В вариантах осуществления с непрерывными спиральными перегородками текучая среда со стороны кожуха по существу проходит за перегородку, т.е. плавно вдоль поверхности перегородки (см. стрелки с незакрашенным наконечником на фиг. 1А). Для непрерывных перегородок, таких как обычные отражающие перегородки или сращенные спиральные перегородки, поток текучей среды проходит над или под пластиной или сращенной секцией, создавая след.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления, например, как показано на фиг. 2А, кожухотрубный теплообменник содержит множество спиральных перегородок, например первичную спиральную перегородку 7 и вторичную спиральную перегородку 10. Каждая дополнительная спиральная перегородка проходит по винтовой траектории, центр вращения которой выровнен с центральной линией корпуса 103 кожуха и с выпускной коллекторной трубой 4. Каждая спиральная перегородка вдоль своей длины поддерживается выпускной коллекторной трубой 4. Каждая спиральная перегородка смещена относительно других спиралей. Обеспечение кожухотрубного теплообменника множеством спиральных перегородок обеспечивает возможность образования множества винтовых путей потоков, разделенных спиральной перегородкой. Предоставление множества взаимно смещенных спиралей может быть в качестве преимущества по сравнению с системой с меньшим количеством перегородок или одной спиральной перегородкой, выполненной с возможностью обеспечения сопоставимой общей длины пути, как будет пояснено ниже. Как описано, первая или первичная перегородка 7, как правило, начинается на второй трубной решетке 106 или вблизи нее. Для кожухотрубного теплообменника с двумя перегородками вторая перегородка, как правило, начинается приблизительно на половину шага дальше от второй трубной решетки и с разностью поворота на 180° относительно первой спирали. Если имеется три перегородки, то точку начала каждой из последующих перегородок смещают на $1/3$ шага дальше от второй трубной решетки относительно других и каждую перегородку поворачивают относительно других вокруг центральной линии под углом около 120° . Предоставление множества спиральных перегородок оптимизирует распределение скорости, подавляет образование более крупных вихрей и/или уменьшает застойные области внутри стороны кожуха, в частности, в местоположении вблизи спиральных концов вблизи входа в выпускную коллекторную трубу. Каждая перегородка приводит к минимальной и максимальной скорости во входном профиле скорости коллекторной трубы. Чем больше количество применяемых перегородок, тем меньше разность между максимальной и минимальной скоростью. В частности, области с низкой скоростью подвержены перегреву и связанной с ним деградации технологической среды, что приводит к загрязнению теплообменника. Обеспечение большего количества перегородок может избежать этого. В качестве альтернативы или дополнительно, обеспечение множества спиральных перегородок уменьшает проблемы с гармониками, например, предотвращает разрушительные вибрации внутри кожухотрубного теплообменника 101. Это происходит в том случае, если колебания находятся на собственной частоте системы. Этого можно избежать посредством изменения шага перегородки или увеличения количества перегородок. Уменьшение шага перегородки не всегда возможно, поскольку может быть превышено допустимое падение давления. В этом случае увеличение количества перегородок является вариантом.

Хотя на фиг. 1 и 2 изображен теплообменник, имеющий две спиральные перегородки, авторы изобретения также явно представляют варианты осуществления с различным количеством спиральных перегородок, например одной перегородкой, тремя или четырьмя перегородками.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления, например, как подробно показано на фиг. 2А, концевой участок 109 указанных одной или более спиральных перегородок, обращенный к первой трубной решетке 105, предпочтительно, все спиральные перегородки снабжены дополнительными отверстиями или перфорациями 20. Концевой участок, снабженный дополнительными отверстиями или перфорациями 20, обеспечивает возможность обхода этого концевого участка по меньшей мере частью текучей среды со стороны кожуха. Было обнаружено, что обеспечение отверстий или перфораций по концевом участке, также называемом перфорированной областью 109 перегородки, улучшает распределение скорости потока, например текучей среды F2 со стороны кожуха, в частности, вблизи входа во

впускное отверстие 8 коллекторной трубы, по сравнению с ситуацией, в которой текучая среда F2 со стороны кожуха проходит через конечную кромку неперфорированной спиральной перегородки перед входом во впускное отверстие 8 коллекторной трубы. Общее количество, размер перфорации и/или длина, на которой обеспечены перфорации, может изменяться в зависимости от количества перегородок. Большее количество перегородок обеспечивает более низкую общую перфорацию. Как правило, общее количество и размер перфораций 20 по перфорированной области перегородки заданной длины составляет общую перфорацию между 5 и 50% (относительно области одинаковой длины без таких перфораций). Обеспечение отверстий или перфораций на концевом участке спиральной перегородки 7, например, с общей перфорацией 5-50%, обеспечивает возможность обхода конечной кромки частью текучей среды F2 со стороны кожуха, например, по меньшей мере 25 об.%, по меньшей мере 50 об.% или по меньшей мере 75 об.%, и возможность ее протекания к впускному отверстию 8 коллекторной трубы более равномерно распределенным образом. Общий обход, как правило, составляет менее 100 об.%, в частности 90 об.% или менее, более в частности 80 об.% или менее, например, около 75 об.% или менее.

В некоторых вариантах осуществления концевой участок спиральной перегородки или перегородок перфорирован на длине по меньшей мере по 5-50% шага перегородки. Шаг перегородки представляет собой расстояние, необходимое для завершения полного поворота на 360°. Считается, что эффект увеличивается с увеличением длины перфорированной области 109 перегородки. Для вариантов осуществления с одной спиральной перегородкой 7 было обнаружено, что оптимальная длина составляет приблизительно половину шага. Для вариантов осуществления с двумя смещенными спиральными перегородками было обнаружено, что оптимальная длина составляет приблизительно четверть шага. Для варианта осуществления с одной перегородкой длина, как правило, составляет самое большее приблизительно один шаг. Для варианта осуществления с двумя перегородками длина, как правило, составляет самое большее приблизительно половину шага. Для вариантов осуществления с различным количеством дополнительных перегородок (например, в общей сложности 4 перегородки) длины могут быть отрегулированы соответствующим образом.

В некоторых вариантах осуществления, например, как показано на фиг. 2В, выпускная коллекторная труба 4 снабжена теплоизоляционным барьером. Теплоизоляционный барьер в качестве преимущества уменьшает теплопередачу к текучей среде F2 со стороны кожуха или от нее, когда ее направляют через выпускную коллекторную трубу 4. Предпочтительно изоляционный барьер обеспечен по длине выпускной коллекторной трубы 4, т.е. из положения, близкого к впускному отверстию 8 коллекторной трубы через вторую трубную решетку 106 к выпускному соплу 3 со стороны кожуха. Наиболее предпочтительно изоляционный барьер обеспечен вдоль по существу всей длины выпускной коллекторной трубы. Таким образом, уменьшается теплопередача к текучей среде F2 со стороны кожуха напротив изоляционной втулки и/или текучей среды F1 со стороны трубы, например, в части выпускной коллекторной трубы 4, которая проходит через выпускную головку 104 текучей среды со стороны трубы. В некоторых вариантах осуществления, например, как показано, вдоль внутренней поверхности трубы обеспечена трубчатая внутренняя изоляционная втулка 11. Предпочтительно, изоляционная втулка 11 содержит теплоизоляционный слой 12. Эта изоляционная втулка 11 прикреплена к выпускной коллекторной трубе 4 вблизи впускного отверстия 8 коллекторной трубы через переходную часть 13, обеспечивающую боковую стенку с постепенным наклоном, направляющую поток от этого впускного отверстия к втулке. На противоположном конце выпускное сопло 3 со стороны кожуха соединено с внутренней втулкой 11, например, посредством аналогичной переходной части или с выпускным соплом 3 со стороны кожуха (не показано).

В другом или дополнительном предпочтительном варианте осуществления впускное сопло 6 со стороны кожуха расположено тангенциально относительно корпуса 103 кожуха и ориентировано таким образом, что входящий поток входит в корпус 103 кожуха с тем же направлением поворота, что и спиральная перегородка. Было обнаружено, что обеспечение впускного сопла 6 со стороны кожуха тангенциально по отношению к корпусу 103 кожуха дополнительно улучшает профиль потока и обеспечивает плавный путь потока от входа в спираль, например, чтобы не нарушать поток, подавлять образование вихря и/или уменьшать образование застойной области.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления корпус 103 кожуха снабжен одним или более сильфонными компенсаторами 14 для того, чтобы справляться с разностью тепловых расширений между стенками со стороны кожуха и со стороны трубы, например, в частности, в случае кожухотрубного теплообменника с неподвижной трубной решеткой, как показано на фиг. 1. Крепление обеих трубных решеток к корпусу кожуха, как в случае конструкции неподвижной трубной решетки, упрощает изготовление и/или повышает надежность. Теплообменные трубы, как правило, прикреплены к трубным решеткам. В целом, местоположение сильфонов выбирают таким образом, чтобы избегать непреднамеренного разрыва. Гибкость этих сильфонов является важным аспектом, который требует надлежащего выбора строительного материала, механические свойства которого зависят от местных условий эксплуатации, например, местной температуры. В некоторых вариантах осуществления указанные один или более сильфонных компенсаторов 14 предпочтительно расположены непосредственно дальше по потоку от впускного сопла 6 со стороны кожуха, например, как показано. Было обнаружено, что расположение ука-

занных одного или более сильфонных компенсаторов 14 непосредственно дальше по потоку от впускного сопла 6 уменьшает загрязнение сильфона, поскольку в процессе эксплуатации сильфоны промываются тангенциальной схемой потока, обеспечиваемой спиральной перегородкой и/или тангенциально расположенным соплом 6, тем самым уменьшая накопление загрязнений. В случае, когда текучая среда со стороны кожуха нагревается текучей средой на стороне трубы, эта область также является относительно более холодной областью обменника, что обеспечивает возможность выбора различных, например, более дешевых, сильфонных материалов по сравнению с сильфонами, обеспеченными по сравнительно более горячим областям теплообменника. Кроме того, в более холодных областях нежелательное преобразование, например деградация технологической среды (текучей среды F2 со стороны кожуха) является менее проблематичным, чем на горячем конце обменника. В некоторых вариантах осуществления, например, в случае, когда не ожидаются большие перепады температур, сильфонные компенсаторы опущены.

Дополнительный аспект настоящего изобретения относится к способу теплообмена между первой текучей средой, например текучей средой F1 со стороны трубы, и второй текучей средой, например, текучей средой F2 со стороны кожуха, с использованием кожухотрубного теплообменника 101 в соответствии с настоящим изобретением. Способ включает направление текучей среды F1 со стороны трубы через одну или более из теплообменных труб кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением; и направление текучей среды F2 со стороны кожуха через корпус 103 кожуха кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением.

Кожухотрубный теплообменник в соответствии с настоящим изобретением обеспечивает особенное преимущество при быстром охлаждении горячего технологического потока, такого как крекированный углеводородный газ, четко определенным и управляемым образом. В таком варианте осуществления текучая среда F1 со стороны трубы имеет более высокую температуру при входе в кожухотрубный теплообменник 101, чем текучая среда F2 со стороны кожуха. Однако настоящее изобретение также может быть применено для охлаждения текучей среды со стороны кожуха. В таком варианте осуществления текучая среда F1 со стороны трубы имеет более низкую температуру при входе в кожухотрубный теплообменник 101, чем текучая среда F2 со стороны кожуха.

Текущие среды могут быть однофазными (газообразными, жидкими или сверхкритическими) или многофазными (например, газожидкостная смесь). Предпочтительно, текущие среды с обеих сторон имеют одинаковую фазу, более предпочтительно текущие среды с обеих сторон представляют собой газовую фазу. Хотя на фиг. 1 показаны текущие среды, протекающие в конфигурации поперечного потока/встречного потока, следует понимать, что кожухотрубный теплообменник 101 также может работать в конфигурации совместного потока.

Дополнительные аспекты настоящего изобретения относятся к системе печи для крекинга и применению кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением в качестве закалочного-испарительного аппарата в системе печи для крекинга углеводородов. Системы печи для крекинга, как, например, раскрыто в документе EP 17176502.7 или US 4479869, как правило, содержат конвекционную секцию, в которой углеводородное сырье предварительно нагревают и/или частично испаряют и смешивают с паром разбавления для получения смеси сырья и пара разбавления. Система содержит радиантную секцию, включающую в себя по меньшей мере один радиантный змеевик в топке, в котором смесь сырья и пара разбавления из конвекционной секции превращается в продукт и побочные компоненты продукта при высокой температуре посредством пиролиза. Система также содержит охлаждающую секцию, включающую в себя по меньшей мере один закалочный теплообменник, например закалочный-испарительный аппарат, выполненный с возможностью быстрого охлаждения продукта или крекированного газа, выходящего из радиантной секции для прекращения побочных реакций пиролиза и сохранения равновесия реакций в пользу продуктов.

Задача настоящего изобретения состоит в усовершенствовании описанной выше системы/способа. В частности, настоящее изобретение направлено на проблемы коксообразования на стороне кожуха теплообменника. Теплообменник в соответствии с настоящим изобретением обеспечивает возможность нагревания смеси сырья и пара разбавления без какого-либо существенного перегрева, например, чтобы препятствовать коксообразованию вследствие деградации сырья на стороне кожуха теплообменника. Кроме того, поскольку выходящий поток (крекированный углеводородный газ), протекающий на стороне трубы, как правило, содержит частицы кокса, для предотвращения коррозии и обеспечения возможности очистки стороны трубы необходимой является конструкция неподвижной трубной решетки. Как и в случае с конструкцией неподвижной трубной решетки механическая очистка стороны кожуха невозможна, загрязнения на стороне кожуха следует избегать любой ценой.

В качестве преимущества, это достигается посредством кожухотрубного теплообменника 101 в соответствии с настоящим изобретением; посредством способа теплообмена между первой текучей средой и второй текучей средой в соответствии с настоящим изобретением; посредством применения указанного теплообменника для теплообмена между первой текучей средой и второй текучей средой; и/или посредством системы 1000 печи для крекинга углеводородов, как раскрыто в настоящем документе. В частности, это достигается в соответствии с настоящим изобретением благодаря превосходному распределению потока, обеспечиваемому в теплообменнике в соответствии с настоящим изобретением, по суще-

ству без каких-либо вихрей или застойных областей, которые могут вызвать перегрев и последующее загрязнение стороны кожуха теплообменника.

В качестве преимущества, теплообменник в соответствии с настоящим изобретением образует часть системы крекинга углеводородов с низким уровнем выбросов, предпочтительная конфигурация которой может быть основана на EP 17176502.7. Таким образом, теплообменник может в качестве преимущества использоваться в эффективной системе печи для крекинга углеводородов, имеющей сокращенную потребность в снабжении энергией и, следовательно, сниженный уровень выбросов CO₂.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления, как будет подробно описано ниже со ссылкой на фиг. 4, тепло от выходящего потока (крекированного газа 208) используется непосредственно для предварительного нагрева углеводородного сырья 201 перед поступлением в радиантный змеевик 211.

На фиг. 4 схематично показан приведенный в качестве примера вариант осуществления системы 1000 печи для крекинга углеводородов, содержащей кожухотрубный теплообменник 101 в соответствии с настоящим изобретением. Система 1000 печи для крекинга углеводородов для преобразования углеводородного сырья в крекированный газ, как описано в настоящем документе, также содержит по меньшей мере: конвекционную секцию 220 печи с множеством конвекционных групп 221, выполненных с возможностью приема и предварительного нагрева углеводородного сырья 201; радиантную секцию, например, радиантную секцию/топку 210 печи, включающую в себя радиантный змеевик 211, где происходит крекинг сырья с образованием потока 208 крекированного углеводородного газа.

Кожухотрубный теплообменник 101 служит в качестве первичного закалочного-испарительного аппарата 235 для предварительного нагрева углеводородного сырья перед входом в радиантный змеевик 211 и для быстрого охлаждения продукта/крекированного газа 208, выходящего из радиантного змеевика 211. Другие компоненты/потоки, содержащиеся в системе, как показано, включают в себя пар 202 разбавления; воду 203 для подпитки котла; пар 204 высокого давления; топливный газ 205; воздух 206 для горения; отработавший газ 207; радиантный змеевик 211; нижнюю горелку 212; зону 214 горения (пламя); подогреватель 222 сырья; змеевик 223 высокой температуры; перегреватель 224 пара разбавления; перегреватель 225 пара высокого давления; змеевик 226 котла; паровой барабан 233; перегреватель 234 и теплообменник 235 передаточной линии. Подробная информация о системе, ее компонентах, ее эксплуатации, а также альтернативных компоновках может быть найдена в EP 17176502.7, который настоящим прилагается посредством ссылки, в конкретных вариантах осуществления и способах, как показано и описано в отношении вариантов осуществления, показанных на фиг. 1-7 EP 17176502.7.

В варианте осуществления, например, как показано на фиг. 4, система выполнена таким образом, что углеводородное сырье 201 смешивают с паром 202 разбавления и предварительно нагревают перед его поступлением в радиантный змеевик 211. В такой компоновке выходящий поток, так называемый крекированный газ 208, как правило, направляется через пространство 107 со стороны трубы кожухотрубного теплообменника 101. При прохождении через указанные одну или более теплообменных труб 5 тепло передается стороне кожуха, содержащей углеводородное сырье 201, смешанное с паром 202 разбавления, таким образом, непосредственно осуществляя предварительный нагрев сырья в радиантном змеевике 211. Как показано, подача в радиантный змеевик 211, как правило, включает подачу углеводородного сырья 201 и пара 202 разбавления. Как рассмотрено выше, преимущества системы включают в себя уменьшение дегградации сырья, например, за счет предотвращения побочных реакций пиролиза, за счет улучшения теплопередачи, т.е. за счет уменьшения застойных областей, за счет уменьшения вихрей и/или улучшения распределения скорости потока в кожухотрубном теплообменнике 101. Кроме того, благодаря использованию тепла от кожухотрубного теплообменника 101 для предварительного нагрева подачи в радиантный змеевик система в качестве преимущества имеет улучшенную энергоэффективность по сравнению с системами, в которых тепло используется косвенно, например, для выработки пара, тем самым снижая потребность в подаче энергии и, следовательно, сокращая выбросы CO₂ системы.

Из вышесказанного следует понимать, что в предпочтительном варианте осуществления кожухотрубный теплообменник 101 используется для охлаждения технологического потока 208 крекированных углеводородов. В особенно предпочтительных вариантах осуществления кожухотрубный теплообменник 101 дополнительно используют для предварительного нагрева подачи в радиантный змеевик 211. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления способ теплообмена между первой текучей средой и второй текучей средой включает направление текучей среды со стороны трубы и текучей среды со стороны кожуха через пространство 107 со стороны трубы и пространство 108 со стороны кожуха теплообменника, соответственно, например, направляя текучую среду F1 со стороны трубы через указанные одну или более теплообменных труб кожухотрубного теплообменника в соответствии с настоящим изобретением и направляя текучую среду F2 со стороны кожуха через корпус 103 кожуха указанного теплообменника. В предпочтительном варианте осуществления одна из текучей среды F1 на стороне трубы и текучей среды F2 на стороне кожуха представляет собой крекированный газ 208, выходящий из радиантного змеевика 211 системы 1000 печи для крекинга углеводородов. Более предпочтительно, например, как в варианте осуществления, показанном на фиг. 4, тепло от потока 208 крекированного углеводородного газа непосредственно передается смеси углеводородной подачи/пара разбавления, протекающей в

радиантный змеевик 211. Соответственно, способ предпочтительно включает направление крекированного газа 208 через пространство 107 со стороны трубы теплообменника и направление смеси углеводородного сырья/пара разбавления в радиантный змеевик 211 через пространство 108 со стороны кожуха теплообменника.

Как подробно описано в настоящем документе, теплообменник 101 в соответствии с настоящим изобретением может быть использован с особым преимуществом в качестве закалочного-испарительного аппарата в системе печи для крекинга углеводородов, например, для замены одного или более закалочных-испарительных аппаратов в вариантах осуществления систем 1000 печи для крекинга углеводородов, изображенных на фиг. 1-5 EP 17176502.7, или системы печи для крекинга в соответствии с WO 2018/229267, или системы печи для крекинга в соответствии с международной заявкой № PCT/EP 2020/067173; содержание этих заявок включено посредством ссылки, в частности, формула изобретения, чертежи и описание чертежей. Система печи для крекинга углеводородов содержит по меньшей мере радиантный змеевик 211 для крекинга углеводородного сырья и кожухотрубный теплообменник 101 в соответствии с настоящим изобретением, который соединен по текучей среде с радиантным змеевиком, расположенным в указанной топке печи. В предпочтительном варианте осуществления пространство 107 со стороны трубы и пространство 108 со стороны кожуха соединены по текучей среде с противоположными концами радиантного змеевика таким образом, чтобы одновременно охлаждать поток углеводородного газа, выходящий из радиантного змеевика, и предварительно нагревать подачу в радиантный змеевик.

Для ясности и краткости признаки описаны в настоящем документе как часть одинаковых или отдельных вариантов осуществления, однако следует понимать, что объем настоящего изобретения может включать в себя варианты осуществления, имеющие комбинации всех или некоторых описанных признаков. Например, в то время как были показаны варианты осуществления для кожухотрубного теплообменника, содержащего две непрерывные спиральные перегородки, каждая из которых имеет перфорированную область 109 перегородки, специалисты в данной области техники, имея преимущество настоящего изобретения для достижения аналогичной функции и результата, также могут представлять альтернативные способы. Различные элементы вариантов осуществления, как рассмотрено и показано, предлагают определенные преимущества, такие как предложение кожухотрубного теплообменника, имеющего улучшенное распределение потока и/или иным образом улучшенные характеристики, например, с точки зрения загрязнения, по сравнению с известными кожухотрубными теплообменниками. Безусловно, следует понимать, что любой из вышеуказанных вариантов осуществления или способов может быть объединен с одним или более другими вариантами осуществления или способами для обеспечения еще большего улучшения в поиске и согласовании конструкций и преимуществ. Следует понимать, что настоящее изобретение предлагает конкретные преимущества для охлаждения потока 208 крекированного углеводородного газа и в целом может быть применено для любого применения, извлекающего выгоду из улучшенного, предпочтительно даже близкого к совершенному, распределения потока со стороны кожуха и улучшенного теплообмена между текучими средами.

При толковании прилагаемой формулы изобретения следует понимать, что слово "содержит" не исключает наличия других элементов или действий, отличных от перечисленных в данной формуле изобретения; наличие элемента, указанного в единственном числе, не исключает наличия множества таких элементов; никакие ссылочные обозначения в формуле изобретения не ограничивают ее объем; несколько "средств" могут быть представлены одинаковым или различным элементом (элементами) или реализованной структурой или функцией; любое из раскрытых устройств или их частей может быть объединено вместе или разделено на дополнительные части, если специально не указано иное. Если один пункт формулы изобретения относится к другому пункту формулы изобретения, это может указывать на синергетическое преимущество, достигаемое комбинацией их соответствующих признаков. Простой факт того, что определенные меры перечислены во взаимно различных пунктах формулы изобретения, не указывает на то, что комбинация этих мер также не может быть использована с выгодой. Таким образом, настоящие варианты осуществления могут включать в себя все рабочие комбинации пунктов формулы изобретения, в которых каждый пункт может в принципе относиться к любому предыдущему пункту, если явно не исключен контекстом.

Проект, нацеленный на такое применение, получил финансирование от программы "European Union Horizon H2020 Programme (H2020-SPIRE-2016)" по соглашению о гранте № 723706.

Список ссылочных обозначений

кожухотрубный теплообменник (101);
система (1000) печи для крекинга углеводородов;
текучая среда (F1) со стороны трубы;
текучая среда (F2) со стороны кожуха;
выпускное сопло (1) со стороны трубы;
выпускное сопло (2) со стороны трубы;
выпускное сопло (3) со стороны кожуха;
выпускная коллекторная труба (4);

теплообменная труба (5);
 впускное сопло (6) со стороны кожуха;
 спиральная перегородка (7);
 впускное отверстие (8) коллекторной трубы;
 вторичное устройство (9) для обтекания;
 дополнительные спиральные перегородки (10);
 изоляционная втулка (11);
 изоляционный слой (12);
 переходная часть (13);
 сильфонный компенсатор (14);
 первичное устройство (15) для обтекания;
 третичное устройство (16) для обтекания;
 дополнительные отверстия или перфорации (20);
 впускная головка (102) для текучей среды со стороны трубы;
 корпус (103) кожуха;
 выпускная головка (104) для текучей среды со стороны трубы;
 первая трубная решетка (105);
 вторая трубная решетка (106);
 пространство (107) со стороны трубы;
 пространство (108) со стороны кожуха;
 перфорированная область (109) перегородки;
 углеводородное сырье (201);
 пар (202) разбавления;
 вода (203) для подпитки котла;
 пар (204) высокого давления;
 топливный газ (205);
 воздух (206) (для горения);
 отработавший газ (207);
 крекированный газ (208);
 котловая вода (209a);
 частично выпаренная котловая вода (209b);
 радиантная секция/топка (210) печи;
 радиантный змеевик (211);
 нижняя горелка (212);
 зона (214) горения (пламя);
 конвекционная секция (220) печи;
 конвекционная группа (221);
 подогреватель (222) сырья;
 змеевик (223) высокой температуры;
 перегреватель (224) пара разбавления;
 перегреватель (225) пара высокого давления;
 змеевик (226) котла;
 паровой барабан (233);
 перегреватель (234);
 первичный закалочно-испарительный аппарат/кожухотрубный теплообменник (235).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Кожухотрубный теплообменник (101) для теплообмена между текучей средой (F1) со стороны трубы и текучей средой (F2) со стороны кожуха, содержащий
 первую трубную решетку (105);
 вторую трубную решетку (106);
 корпус (103) кожуха, снабженный впускным соплом (6) со стороны кожуха, причем противоположные завершающие концы корпуса (103) кожуха ограничены первой трубной решеткой (105) и второй трубной решеткой (106);
 одну или более теплообменных труб (5), которые проходят через корпус (103) кожуха от первой трубной решетки (105) ко второй трубной решетке (106);
 спиральную перегородку (7), проходящую по винтовой траектории, центр вращения которой по существу выровнен с центральной линией корпуса кожуха, причем спиральная перегородка (7) выполнена с возможностью обеспечения винтового пути потока через корпус (103) кожуха дальше по потоку от впускного сопла (6) со стороны кожуха по направлению к первой трубной решетке (105); и
 выпускную коллекторную трубу (4), которая проходит по существу соосно внутри корпуса кожуха

и поддерживает спиральную перегородку (7) вдоль ее длины таким образом, что винтовой путь потока направляется вдоль наружной поверхности выпускной коллекторной трубы (4), причем выпускная коллекторная труба (4) установлена на вторую трубную решетку (106) и проходит через нее, при этом выпускная коллекторная труба (4) отделена от первой трубной решетки (105) зазором, расположенным дальше по потоку от винтового пути потока для обеспечения возможности входа текучей среды (F2) со стороны кожуха во впускное отверстие (8) указанной коллекторной трубы, обращенное к первой трубной решетке (105) через зазор, а также возможности ее выхода из корпуса (103) кожуха через выпускное сопло (3) со стороны кожуха, обеспеченное на завершающем конце выпускной коллекторной трубы (4), противоположном впускному отверстию (8) коллекторной трубы, причем коллекторная труба имеет возможность свободного теплового расширения во время эксплуатации.

2. Кожухотрубный теплообменник (101) по п.1, в котором спиральные перегородки отсоединены от корпуса (103) кожуха, а теплообменные трубы (5) не проходят внутрь выпускной коллекторной трубы.

3. Кожухотрубный теплообменник (101) по п.1 или 2, в котором впускное отверстие (8) коллекторной трубы снабжено первичным устройством (15) для обтекания, имеющим форму наподобие конуса или раструба, с тем чтобы плавно направлять текучую среду (F2) со стороны кожуха в выпускную коллекторную трубу (4).

4. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, в котором спиральная перегородка (7) представляет собой непрерывную спиральную перегородку, обеспечивающую непрерывный винтовой путь потока вдоль по существу всей длины выпускной коллекторной трубы (4) от второй трубной решетки (106) к первой трубной решетке (105).

5. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, в котором концевой участок спиральной перегородки (7), обращенный к первой трубной решетке (105), снабжен отверстиями или перфорациями (20), обеспечивающими возможность, по меньшей мере, частичного обхода указанного концевого участка текучей средой (F2) со стороны кожуха.

6. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, содержащий вторичное устройство (9) для обтекания, содержащее выступ, обеспеченный для первой трубной решетки (105) напротив впускного отверстия (8) коллекторной трубы, причем форма выступа выполнена с возможностью плавного направления потока текучей среды (F2) со стороны кожуха в направлении вдоль первой трубной решетки (105) в выпускную коллекторную трубу (4).

7. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, в котором выпускная коллекторная труба (4) снабжена теплоизоляционным барьером.

8. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, причем кожухотрубный теплообменник (101) содержит одну или более дополнительных спиральных перегородок (10).

9. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, в котором впускное сопло (6) со стороны кожуха расположено тангенциально относительно корпуса (103) кожуха.

10. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, в котором корпус (103) кожуха снабжен одним или более сильфонными компенсаторами (14).

11. Кожухотрубный теплообменник (101) по любому из предыдущих пунктов, в котором противоположные концы указанных одной или более теплообменных труб (5), соответственно, открыты во впускную головку (102) для текучей среды со стороны трубы и выпускную головку (104) для текучей среды со стороны трубы.

12. Способ теплообмена между первой текучей средой и второй текучей средой, включающий направление текучей среды (F1) со стороны трубы через одну или более теплообменных труб (5) кожухотрубного теплообменника (101) по любому из пп.1-11 и

направление текучей среды (F2) со стороны кожуха через корпус (103) кожуха кожухотрубного теплообменника (101) по любому 30 из пп.1-11.

13. Способ по п.12, в котором кожухотрубный теплообменник (101) используют в качестве закально-испарительного аппарата в системе крекинга углеводородов.

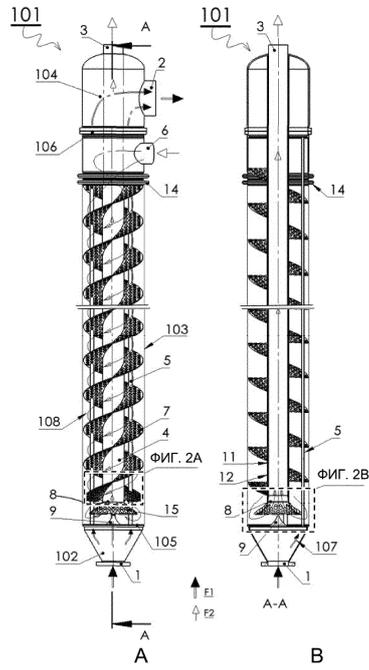
14. Способ по п.13, в котором текучая среда (F1) со стороны трубы представляет собой технологический поток крекированных углеводородов, выходящий из радиантного змеевика (211) системы (1000) печи для крекинга, причем текучая среда (F2) со стороны кожуха содержит углеводородное сырье, подаваемое в указанный радиантный змеевик (211), а текучая среда (F2) со стороны кожуха предпочтительно представляет собой смесь углеводородного сырья и разбавителя, более предпочтительно смесь углеводородного сырья и пара разбавления.

15. Система (1000) печи для крекинга углеводородов, содержащая топку (210) печи, в которой обеспечен радиантный змеевик (211) для крекинга углеводородного сырья и кожухотрубный теплообменник (101) по любому из пп.1-11, соединенный по текучей среде с радиантным змеевиком (211), расположенным в указанной топке печи.

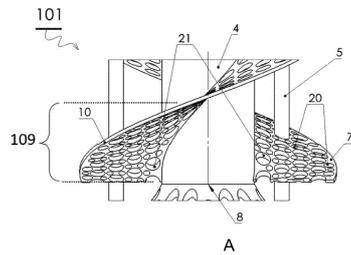
16. Система (1000) печи для крекинга углеводородов по п.15, в которой кожухотрубный теплообменник (101) имеет пространство (107) со стороны трубы и пространство (108) со стороны кожуха, каждое из которых соединено по текучей среде с противоположными концами радиантного змеевика (211), выполненные с возможностью одновременного охлаждения потока углеводородного газа, выходящего из

радиантного змеевика (211), и предварительного нагрева подачи в радиантный змеевик (211).

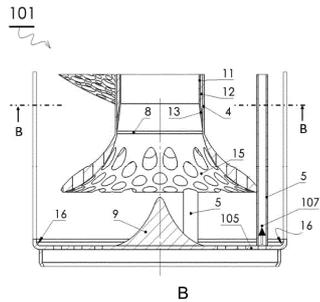
17. Система (1000) печи для крекинга углеводородов по п.15 или 16, в которой кожухотрубный теплообменник (101) установлен по существу вертикально и/или в которой вторая трубная решетка (106) расположена над первой трубной решеткой (105).



Фиг. 1

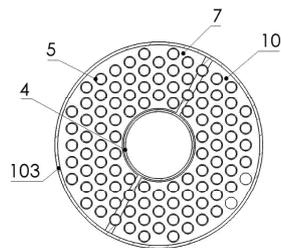


A



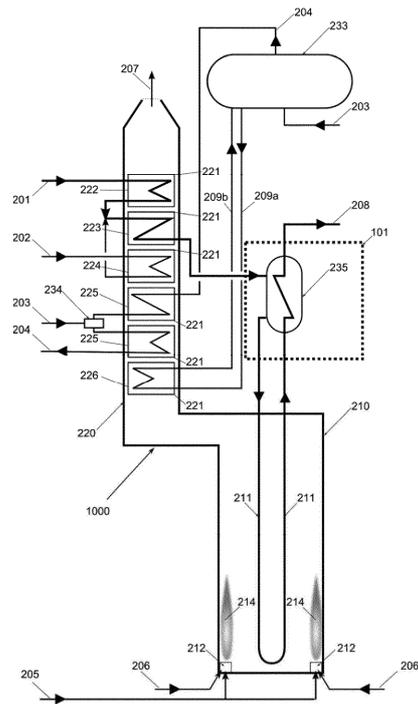
B

Фиг. 2



B-B

Фиг. 3



Фиг. 4