

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044097**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.07.24

(21) Номер заявки
202193297

(22) Дата подачи заявки
2020.05.27

(51) Int. Cl. **F28D 7/16** (2006.01)
F28F 9/00 (2006.01)
F28F 9/013 (2006.01)

(54) **ТЕПЛООБМЕННИК СО СПИРАЛЬНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ**

(31) **16/428,582**

(32) **2019.05.31**

(33) **US**

(43) **2022.04.15**

(86) **PCT/US2020/034659**

(87) **WO 2020/243146 2020.12.03**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ЛАММУС ТЕКНОЛОДЖИ ЭЛЭЛСИ
(US)**

(72) Изобретатель:
**Масидо Эрик Дрю, Джибб Ричард
Джон, Эльсанд Шериф, О'Салливан
Мелани (US)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) **US-A-4493368
US-A-4697637
US-B1-6827138
CN-B-105910462
CN-A-105806102**

(57) Теплообменник, включающий кожух, имеющий продольную ось, множество перегородок, таких как перегородки в форме эллиптического сектора, каждая из которых установлена в кожухе под углом N_{ν} спирали с целью направления потока текучей среды в кожухе по спиральной траектории. Каждая из перегородок имеет наружный периферийный край, ближний радиальный край, дальний радиальный край, ближнюю сторону, дальнюю сторону и множество отстоящих друг от друга отверстий, через которые проходит множество идущих в осевом направлении труб. Каждая из первого множества уплотнительных полос расположена от ближней из множества перегородок к дальней из множества перегородок.

B1

044097

044097

B1

Изобретение направлено на теплообменные агрегаты с улучшенными рабочими параметрами за счет максимального отношения теплопередачи к падению давления, при этом, обеспечивающие снижение затрат на установку и обслуживание и эффективную защиту от повреждения под действием вибрации или снижения эффективности из-за засорения.

В любой отрасли промышленности - при нефтедобыче на шельфе, в электроэнергетике, нефтехимии, целлюлозно-бумажной или пищевой промышленности, часто критически важно, чтобы теплообменники соответствовали указанным выше техническим требованиям. Известно множество конфигураций теплообменников, используемых в различных вариантах применения. Одной из широко известных конфигураций теплообменника является кожухотрубный теплообменник, показанный для примера на фиг. 1. Кожухотрубный теплообменник, показанный на фиг. 1, включает цилиндрический кожух 10, в котором расположен пучок параллельных труб, проходящих между двумя концевыми пластинами 12. Первая текучая среда 13 протекает в пространстве между двумя концевыми пластинами, вступая в контакт с пучком параллельных труб 11, по которым протекает вторая текучая среда 14. Для улучшения теплообмена между двумя текучими средами поток первой текучей среды 13 направляется промежуточными перегородками 15, образующими соответствующие отделения, которые расположены так, что поток первой текучей среды 13 меняет направление, переходя из одного отделения в другое. Перегородки 15, выполненные как сегменты круга, установлены перпендикулярно продольной оси 16 кожуха 10 с целью обеспечения зигзагообразного потока 17 первой текучей среды 13.

К сожалению, в кожухотрубных теплообменниках, таких как теплообменник, показанный на фиг. 1, вторая текучая среда вынуждена резко менять направление течения несколько раз вдоль длины кожуха. Резкие изменения направления течения вызывают снижение динамического давления второй текучей среды и неравномерность скорости течения, что в сочетании негативно влияет на рабочие параметры теплообменника. Кроме этого, для очистки кожухотрубных теплообменников необходимо вынимать пучок параллельных труб 11 из кожуха 10, или же в качестве первой текучей среды 13, протекающей в кожухе 10 кожухотрубного теплообменника, можно использовать только чистые текучие среды. Для выполнения пучка параллельных труб 11 съемным требуется наличие достаточного зазора между пучком параллельных труб 11 и кожухом 10, позволяющего проводить демонтаж без повреждения. Обычно зазор между пучком параллельных труб 11 и кожухом 10 настолько большой, что значительное количество первой текучей среды 13, подлежащей нагреванию или охлаждению, проходит мимо пучка параллельных труб 11 и смешивается с первой текучей средой 13, нагретой или охлажденной, на выходе кожухотрубного теплообменника.

Также в отношении кожухотрубных теплообменников (например, теплообменника, показанного на фиг. 1) хорошо известно, что перпендикулярное расположение перегородок относительно продольной оси кожуха приводит к относительно неэффективному соотношению между интенсивностью теплопередачи и падением давления, так как перегородки создают значительное сопротивление формы. Соседние перегородки, расположенные параллельно друг другу и под прямым углом к продольной оси кожуха, определяют траекторию поперечного потока с множеством резких поворотов между соседними каналами. Эффективность теплопередачи может быть повышена путем уменьшения шага между перегородками. Однако уменьшение шага приводит к возникновению больших зон рециркуляции и вынуждает большую часть потока проникать между трубами и перегородкой и вдоль наружных краев перегородок. Из-за неоднородного распределения потока в каждом сегменте, ограниченном соседними перегородками, появляется множество вихревых течений, застойных зон и расширения/сжатия, что снижает локальную разность температур. Дополнительным фактором, вносящим вклад в уменьшение интенсивности теплопередачи, считают то, что трубы, обтекаемые первой текучей средой, должны быть расположены на некотором радиальном расстоянии от кожуха. Следовательно, поперечный поток вокруг труб, расположенных на периферии, движется быстрее, чем вокруг труб, расположенных в центре.

Таким образом, традиционное расположение перегородок, описанное выше, приводит к появлению байпасного потока через зазоры между перегородками и кожухом и утечке потока через зазоры между трубами и перегородками. Из-за байпасного потока и потока утечки снижается теплопередача в перекрестном потоке, тогда как из-за ненадлежащего распределения потока, вызванного неравномерностью скорости, увеличивается обратный поток и образование вихрей в мертвых зонах, что, в свою очередь, ведет к осаждению засоряющих материалов на наружной поверхности труб трубного пучка. Если теплообменник продолжает непрерывно работать после осаждения засоряющих материалов в кожухе, со временем начинает ощущаться значительное ухудшение рабочих параметров, что выражается как увеличение эксплуатационных затрат и энергопотребления. Если теплообменник снимают с эксплуатации для очистки вследствие накопления засоряющих материалов, то страдает производство, что выражается как эксплуатационные затраты, сравнимые или превышающие стоимость теплообменника. Кроме этого, в теплообменниках, которые надолго оставляют в засоренном состоянии, образуются затвердевшие отложения, которые трудно поддаются удалению и могут вызывать коррозию в некоторых областях при более высокой температуре. Пучку труб, на котором образуются затвердевшие отложения и на котором начинается коррозия, может быть нанесен такой ущерб, что его необходимо будет снимать с эксплуатации и заглушать поврежденные трубы.

Кроме этого, обычная конструкция может испытывать вибрацию труб при прохождении потока, поскольку длинные трубы, длина которых достигает часто 24 футов (7,3 м), опираются на ряд перегородок, которые для решения проблемы, связанной с неоднородностью скорости, расположены на значительном расстоянии друг от друга.

Теплообменники со спиральными перегородками использовали для устранения проблемы неоднородности потока, свойственной кожухотрубным теплообменникам. Спиральный характер потока первой текучей среды позволяет особенно эффективным образом преобразовать соответствующее требованиям падение давления в теплопередачу и способствует сокращению риска вибрации пучка параллельных труб. Однако, спиральные перегородки могут иметь большой зазор, через который поток первой текучей среды может проникать вокруг перегородок, что может приводить как к уменьшению скорости поперек трубного пучка, так и снижению теплового КПД из-за потери температурного напора. В частности, эти проблемы могут возникать, когда требуется съемный пучок труб с большим зазором между трубами и кожухом. Кроме этого, байпасный поток мимо трубного пучка может быть особенно значительным при охлаждении вязкой жидкости, когда вязкость жидкости после охлаждения значительно больше, чем вязкость жидкости при поступлении в теплообменник. Другими словами, более теплая, менее вязкая жидкость может легче протекать в обход трубного пучка, чем охлажденная, более вязкая жидкость.

Для предотвращения байпасирования перегородок теплообменника со спиральными перегородками использовали уплотнительные устройства. Уплотнительные устройства для таких теплообменников со спиральными перегородками, по существу, относящиеся к тому же типу, что и уплотнительные устройства, используемые для обычных перегородок, и оказались относительно неэффективными в отношении предотвращения байпасного потока в теплообменниках со спиральными перегородками. Кроме этого, поскольку теплообменники со спиральными перегородками, вообще, характеризуются меньшим падением давления, чем теплообменники с сегментными перегородками, отрицательный эффект, связанный с падением давления, вызываемым уплотнительными устройствами, может превзойти эффект улучшения теплопередачи. Уплотнительные устройства, используемые в обычных теплообменниках с перегородками, в лучшем случае, могут обеспечить незначительное повышение теплопередачи и, в худшем случае, могут быть помехой для спирального потока в пучке, тем самым, вызывая значительное уменьшение теплопередачи.

Сущность изобретения

Желательно создать совокупность перегородок, способных обеспечить однородный поток текучей среды без рециркуляции, мертвых зон или утечек/байпасирования поверхностей теплопередачи. Кроме этого, желательно создать совокупность перегородок, включающую множество перегородок и уплотнительных устройств, способную обеспечивать более высокую интенсивность теплопередачи при приемлемом падении давления и уровне вибрации. Кроме этого, требуется совокупность перегородок, которая позволяет упростить обслуживание трубного пучка благодаря большему зазору между трубами и кожухом для быстрого снятия и замены с целью очистки и ремонта. Раскрываемые в настоящем документе варианты осуществления изобретения направлены на решение одной или нескольких из этих задач.

Вариантами осуществления изобретения может обеспечиваться теплообменник. Теплообменник может включать кожух, имеющий продольную ось, предназначенный для приема первой текучей среды. Кроме этого, теплообменник может включать множество эллиптических секторообразных перегородок, каждая из которых установлена в кожухе под углом к продольной оси и направляет поток первой текучей среды в кожухе по спиральной траектории. Кроме этого, теплообменник может включать первое множество уплотнительных полос, имеющих первый конец и второй конец, расположенных радиально между кожухом и множеством труб, идущих в осевом направлении. Кроме этого, каждая из множества перегородок может иметь наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положения наружного периферийного края остальных из множества перегородок, ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края, ближнюю сторону, противоположную дальней стороне, множество отстоящих друг от друга отверстий, предназначенных для множества идущих в осевом направлении труб, по которым протекает вторая текучая среда. Первый конец каждой из первого множества уплотнительных полос может быть соединен с дальней стороной одной из множества перегородок между ближним радиальным краем и дальним радиальным краем одной из множества перегородок. Второй конец каждой из первого множества уплотнительных полос может быть соединен с дальней стороной другой из множества перегородок между ближним радиальным краем и дальним радиальным краем другой из множества перегородок. Кроме этого, каждая из первого множества уплотнительных полос может располагаться либо перпендикулярно и к дальней стороне одной из множества перегородок, и к ближней стороне другой из множества перегородок, либо под некоторым углом к перпендикуляру к ближней стороне одной из множества перегородок и дальней стороне другой из множества перегородок, и этот угол может составлять от более 0° до 80° в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю одной из множества перегородок.

Вариантами осуществления изобретения также может обеспечиваться способ сборки теплообменника. Способ может включать обеспечение центрального стержня, имеющего продольную ось. Кроме этого, способ может включать установку множества эллиптических секторообразных перегородок на центральном стержне под углом к продольной оси центрального стержня так, чтобы множество перегородок образовывало спиральную траекторию. Каждая из множества перегородок может иметь наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положения наружного периферийного края остальных из множества перегородок, ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края, ближнюю сторону, противоположную дальней стороне, и множество отстоящих друг от друга отверстий. Кроме этого, способ может включать размещение множества идущих в осевом направлении труб во множестве отстоящих друг от друга отверстий каждой из множества перегородок, и по множеству идущих в осевом направлении труб может протекать вторая текучая среда. Кроме этого, способ может включать соединение первого множества уплотнительных полос, имеющих первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб. Соединение первого множества уплотнительных полос может включать соединение первого конца каждой из первого множества уплотнительных полос с дальней стороной одной из множества перегородок и соединение второго конца каждой из первого множества уплотнительных полос с ближней стороной другой из множества перегородок. Каждая из первого множества уплотнительных полос может располагаться либо перпендикулярно и к дальней стороне одной из множества перегородок, и к ближней стороне другой из множества перегородок, либо под некоторым углом к перпендикуляру к ближней стороне одной из множества перегородок и дальней стороне другой из множества перегородок, и этот угол может составлять от более 0° до 80° в направлении, определяемом от дальнего радиального края к ближнему радиальному краю одной из множества перегородок.

В одном из аспектов раскрываемые варианты осуществления изобретения относятся к теплообменнику. Теплообменник может включать кожух, множество перегородок, множество идущих в осевом направлении труб и множество уплотнительных полос. Кожух может иметь продольную ось и может быть предназначен для приема первой текучей среды. Множество перегородок, каждая из которых установлена в кожухе под углом H_B спирали, может быть предназначена для направления потока первой текучей среды в кожухе по спиральной траектории. Каждая из множества перегородок может иметь: наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положения наружного периферийного края остальных из множества перегородок; ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края; ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и множество отстоящих друг от друга отверстий, предназначенных для множества идущих в осевом направлении труб, по которым протекает вторая текучая среда. Множество уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, расположены радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб и находятся, каждая, соответственно, между любыми двумя соседними в продольном направлении перегородками, при этом, каждая из первого множества уплотнительных полос расположена от ближней из множества перегородок к дальней из множества перегородок под углом H_S спирали, который больше 5° и меньше угла H_B спирали перегородки, где углы H_B и H_S спирали определяются как угол наклона соответствующей перегородки или уплотнительной полосы относительно продольной оси кожуха.

В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы, отчасти, могут быть выполнены так, чтобы направлять поток текучей среды по спирали к выпускному отверстию. Первое множество уплотнительных полос может быть расположено от дальней стороны первой перегородки, рядом с ближним радиальным краем первой перегородки, к ближней стороне второй перегородки, рядом с дальним радиальным краем второй перегородки, при этом, первая и вторая перегородки расположены в одном и том же секторе или квадранте. В качестве альтернативы, первое множество уплотнительных полос может быть расположено от дальней стороны первой перегородки, посреди ближнего радиального края и дальнего радиального края первой перегородки, к ближней стороне второй перегородки, посреди ближнего радиального края и дальнего радиального края второй перегородки, при этом вторая перегородка расположена в ином секторе или квадранте, нежели первая перегородка.

Первый конец каждой из первого множества уплотнительных полос в некоторых вариантах осуществления изобретения может быть соединен с дальней стороной первой из множества перегородок, и второй конец каждой из первого множества уплотнительных полос может быть соединен с ближней стороной второй из множества перегородок.

Каждая из первого множества уплотнительных полос может иметь внутреннюю поверхность и наружную поверхность. Первое множество уплотнительных полос может быть отклонено от наружной поверхности к внутренней поверхности под некоторым углом от перпендикуляра к кожуху в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю одной из множества перегородок.

В некоторых вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос может быть отклонена под углом от 15° до 45° от перпендикуляра к кожуху так, что поток первой текучей среды наталкивается на уплотнительную перегородку под углом от 105° до 135° .

Наружная поверхность каждой из первого множества уплотнительных полос может быть расположена, по существу, рядом с наружной поверхностью кожуха. Внутренняя поверхность каждой из первого множества уплотнительных полос в некоторых вариантах осуществления изобретения может отстоять от наружного диаметра ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб на расстояние, равное расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб из множества идущих в осевом направлении труб.

Каждая из множества перегородок может предусматривать соединение по меньшей мере одной уплотнительной полосы первого множества с ближней стороной, и по меньшей мере одной уплотнительной полосы первого множества с дальней стороной перегородки. В некоторых вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос, соединенная с дальней стороной каждой из множества перегородок, может быть вращательно смещена вокруг продольной оси от каждой из множества уплотнительных полос, соединенных с ближней стороной каждой из множества перегородок.

В некоторых вариантах осуществления изобретения каждая уплотнительная полоса первого множества имеет наружный диаметр с изогнутостью, которая является эллиптической, и/или при этом каждая уплотнительная полоса первого множества имеет внутренний диаметр с изогнутостью, которая является эллиптической.

Каждая уплотнительная полоса первого множества может иметь ширину (наружный диаметр минус внутренний диаметр), переменную вдоль длины, от первого конца ко второму концу уплотнительной полосы, и/или, при этом, каждая уплотнительная полоса первого множества имеет глубину, от ближней стороны до дальней стороны, переменную вдоль ширины или длины уплотнительной полосы.

В некоторых вариантах осуществления изобретения с каждой перегородкой из множества перегородок может быть соединено равное число уплотнительных полос. В некоторых вариантах осуществления изобретения число уплотнительных полос на оборот вокруг продольной оси кожуха является кратным числу перегородок на оборот вокруг продольной оси кожуха.

Теплообменники, соответствующие вариантам осуществления изобретения, могут дополнительно включать второе множество уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, расположенных радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и каждая из которых находится, соответственно, между любыми двумя перегородками. Каждая уплотнительная полоса второго множества может быть расположена от ближней из множества перегородок к дальней из множества перегородок под углом H_{2S} спирали, который больше 5° , отличен от угла H_S спирали и меньше угла H_B спирали перегородки, при этом, углы H_B , H_S и H_{2S} спирали определяются как угол между соответствующей перегородкой или уплотнительной полосой и продольной осью кожуха.

Теплообменники, соответствующие вариантам осуществления изобретения, могут дополнительно включать второе множество уплотнительных полос. Каждая из них может иметь первый конец и второй конец, располагаться радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и каждая, соответственно, может быть помещена между любыми двумя соседними перегородками, при этом, каждая уплотнительная полоса второго множества размещена от ближнего радиального края перегородки к дальнему радиальному краю соседней перегородки. В некоторых вариантах осуществления изобретения внутренний диаметр каждой из второго множества уплотнительных полос может отстоять от наружного диаметра ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб на расстояние, равное расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб множества идущих в осевом направлении труб.

В другом аспекте, раскрываемые варианты осуществления изобретения относятся к способу сборки теплообменника. Способ может включать: обеспечение центрального стержня, имеющего продольную ось, и установку множества эллиптических секторообразных перегородок на центральном стержне под углом к продольной оси центрального стержня так, чтобы множество перегородок образовывало спиральную траекторию. Каждая из множества перегородок может иметь: наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положения наружного периферийного края остальных из множества перегородок; ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края; ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и множество отстоящих друг от друга отверстий; размещение множества идущих в осевом направлении труб во множестве отстоящих друг от друга отверстий каждой из множества перегородок, при этом, по множеству идущих в осевом направлении труб может протекать вторая текучая среда. Способ может также включать соединение первого множества уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб. Соединение первого множества уплотнительных полос может включать: соединение первого конца каждой из первого множества уплотнительных полос с ближней из множества перегородок; и соединение второго конца каждой из

первого множества уплотнительных полос с другой, более дальней из множества перегородок. Каждая из первого множества уплотнительных полос может быть размещена от ближней из множества перегородок к дальней из множества перегородок под углом H_S спирали, который больше 5° и меньше угла H_B спирали перегородки, где углы H_B и H_S спирали определяются как угол наклона соответствующей перегородки или уплотнительной полосы относительно продольной оси кожуха. Способ может также включать размещение собранных вместе центрального стержня, множества перегородок, множества идущих в осевом направлении труб и первого множества уплотнительных полос в кожухе, предназначенном для приема первой текучей среды.

Каждая из присоединенного первого множества уплотнительных полос может иметь внутренний диаметр и наружный диаметр. В некоторых вариантах осуществления изобретения соединение первого множества уплотнительных полос может дополнительно включать: отклонение присоединенного первого множества уплотнительных полос от наружного диаметра к внутреннему диаметру на некоторый угол относительно перпендикуляра к кожуху в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю одной из множества перегородок. В некоторых вариантах осуществления изобретения соединение первого множества уплотнительных полос может дополнительно включать: расположение внутреннего диаметра каждой из первого множества уплотнительных полос на таком расстоянии от наружного диаметра ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб, которое равно расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб из множества идущих в осевом направлении труб. В некоторых вариантах осуществления изобретения соединение первого множества уплотнительных полос может дополнительно включать вращательное смещение каждой из первого множества уплотнительных полос, соединенных с дальней стороной каждой из множества перегородок, от каждой из множества уплотнительных полос, соединенных с ближней стороной каждой из множества перегородок.

Способ сборки может дополнительно включать соединение второго множества уплотнительных полос, имеющих первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб. Соединение второго множества уплотнительных полос может включать: соединение первого конца каждой из второго множества уплотнительных полос с ближним радиальным краем дальней стороны одной из множества перегородок; и соединение второго конца каждой из второго множества уплотнительных полос с дальним радиальным краем ближней стороны другой из множества перегородок, при этом каждая из второго множества уплотнительных полос расположена параллельно продольной оси кожуха.

В другом аспекте, раскрываемые варианты осуществления изобретения относятся к теплообменнику. Теплообменник может включать: кожух, имеющий продольную ось и предназначенный для приема первой текучей среды; множество перегородок, установленных в кожухе под углом к продольной оси, отстоящих друг от друга вдоль продольной оси и предназначенных для направления потока первой текучей среды в кожухе по спиральной траектории, при этом, каждая из перегородок имеет: наружный периферийный край; ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края; ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и множество отстоящих друг от друга отверстий, выполненных в каждой перегородке от ближней стороны до дальней стороны, при этом отверстия предназначены для множества идущих в осевом направлении труб, при этом трубы предназначены для второй текучей среды; и множество уплотнительных элементов, каждый из которых имеет первый конец и второй конец, уплотнительные элементы размещены радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и первый конец каждого уплотнительного элемента соединен с дальней стороной соответствующей перегородки, а второй конец каждого уплотнительного элемента соединен с ближней стороной соответствующей перегородки. В некоторых вариантах осуществления уплотнительные элементы могут включать уплотнительные полосы или уплотнительные стержни.

В другом аспекте, раскрываемые варианты осуществления изобретения относятся к теплообменнику, включающему кожух, имеющий продольную ось, при этом, кожух предназначен для приема первой текучей среды. Множество перегородок, каждая, установлены в кожухе под углом H_B спирали с целью направления потока первой текучей среды в кожухе по спиральной траектории. Каждая из множества перегородок может иметь: наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положения наружного периферийного края остальных из множества перегородок; ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края; ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и множество отстоящих друг от друга отверстий, предназначенных для множества идущих в осевом направлении труб, по которым протекает вторая текучая среда. Первое множество смещенных по окружности уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, может быть расположено радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и каждая из которых может быть размещена, соответственно, между любыми двумя соседними перегородками. В некоторых вариантах осуществления каждая из множества перегородок соединена по меньшей мере с двумя полосами из первого множества уплотнительных полос, из которых дальняя уплотнительная полоса соединена с дальней стороной перегородки, и ближняя уплотнительная

полоса соединена с ближней стороной той же перегородки, при этом ближняя уплотнительная полоса смещена по окружности от дальней уплотнительной полосы. В некоторых вариантах осуществления каждая из первого множества уплотнительных полос может быть параллельна продольной оси теплообменника.

Другие аспекты и преимущества изобретения станут очевидны из нижеследующего описания и прилагаемой формулы изобретения.

Краткое описание фигур

На фиг. 1 представлена схема распределения потока в обычном кожухотрубном теплообменнике.

На фиг. 2 представлен схематичный вид в перспективе теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 3 представлен вид в перспективе структуры перегородок теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 4А и 4В представлен вид в перспективе перегородок теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 5А - 5Е представлено несколько видов теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6А - 6В представлены виды в перспективе теплообменников, соответствующих нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 7 представлен вид сбоку теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 8 представлен вид сбоку теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 9 представлен вид сбоку теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 10 графически представлены данные сравнения теплообменника, соответствующего описываемым вариантам осуществления настоящего изобретения, с теплообменниками известного уровня техники.

Подробное описание изобретения

Далее со ссылкой на прилагаемые фигуры подробно описаны варианты осуществления настоящего изобретения. На разных фигурах подобные элементы могут быть для взаимосогласованности обозначены одинаковыми номерами позиций. Кроме этого, в следующем далее подробном описании для более полного понимания заявленного объекта изобретения приведено множество конкретных подробностей. Однако специалистам в данной области будет понятно, что описанные варианты осуществления изобретения могут быть воплощены на практике без этих конкретных подробностей. В других случаях, хорошо известные характеристики не описаны подробно, чтобы избежать ненужного усложнения описания.

На фиг. 2 показан теплообменник 200 со спиральными перегородками, соответствующий одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. Теплообменник 200 может включать кожух 220, по которому пропускают первую текучую среду, множество идущих в осевом направлении труб 230, по которым пропускают вторую текучую среду, и множество эллиптических секторообразных перегородок 240. Под выражением "эллиптическая секторообразная" следует понимать, что перегородки имеют общую форму эллиптического сектора, который геометрически включает область, ограничиваемую дугой и отрезками прямой, соединяющими центр эллипса (исходная точка) и конечные точки дуги, однако, может не включать весь сектор, учитывая наличие других компонентов теплообменника (труб и др.) и порядок установки перегородки (например, охват или прилегание центральной трубы или размещение труб вдоль периферии эллиптического сектора, как показано, например, на фиг. 3 и 4).

Кожух 220 может иметь впуск 228 и выпуск 229, между которыми в кожухе 220 может протекать первая текучая среда. Каждая из перегородок 240 может располагаться под углом λ относительно прямой (N-N), перпендикулярной продольной оси 221 кожуха 220, чтобы направлять поток 222 первой текучей среды в кожухе 220 по спиральной траектории 231 от впуска 228 к выпуску 229. Спиральная траектория 231 потока 222 первой текучей среды может обеспечивать при имеющемся в распоряжении падении давления эффективную теплопередачу и уменьшенный риск вибрации благодаря минимальной свободной длине труб между опорами. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения вдоль потока 222 первой текучей среды могут отсутствовать мертвые зоны, где скапливаются отложения, и теплопередача может быть больше благодаря исключению завихрений или обратного смешения. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения направление потока 222 первой текучей среды может быть противоположно направлению потока 232 второй текучей среды в трубах 230. Другими словами, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения вторая текучая среда может течь в направлении, по существу, от выпуска 229 ко впуску 228. Кроме этого, хотя перегородки 240, как показано на фиг. 2, плоские, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения

противоположные стороны каждой перегородки могут быть изогнуты, чтобы направлять поток 222 первой текучей среды по спиральной траектории.

На фиг. 3 показана структура 341 перегородок, соответствующая одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. Структура 341 перегородок может включать последовательные перегородки 340, расположенные под некоторым углом к перпендикуляру к продольной оси (не показана) структуры 341 перегородок; последовательные перегородки 340 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, чтобы образовывалась спиральная траектория. Вращательное смещение между последовательными перегородками 340 может быть таково, что, по меньшей мере, ближний радиальный край 344 одной перегородки 340 перекрывает или примыкает к дальнему радиальному краю 345 соседней перегородки 340 в продольном направлении. Например, на фиг. 3 поясняется один из вариантов осуществления, в котором ближний радиальный край 344 каждой перегородки 340 перекрывает дальний радиальный край 345 следующей перегородки 340. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближний радиальный край 344 каждой перегородки 340 может быть радиальным краем перегородки 340, ближайшим по оси ко впуску (не показан) кожуха (не показан) теплообменника, а дальний радиальный край 345 каждой перегородки 340 может быть радиальным краем перегородки 340, самым дальним от впуска кожуха теплообменника. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место равное число перегородок 340 на оборот 360° вокруг продольной оси, вокруг которой расположены перегородки 340. Кроме этого, перегородки 340 могут служить опорой для множества труб 330 и могут направлять поток первой текучей среды (не показан) по спиральной траектории. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 340 могут быть соединены друг с другом множеством стержней 342. Необязательно, во время монтажа может быть применена проставка 349, обеспечивающая расстояние между перегородками. Как показано на чертеже, проставка 349 является прямоугольной, однако, могут быть использованы и другие формы. Как показано на фиг. 3, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая перегородка может иметь наружный периферийный край 343, и каждый наружный периферийный край 343 может отстоять от наружного периферийного края 343 соседней перегородки 340. Каждая из перегородок также может иметь ближний радиальный край 344 у одного конца наружного периферийного края 343 и дальний радиальный край 345 у другого конца наружного периферийного края 343, таким образом, наружный периферийный край 343, ближний радиальный край 344 и дальний радиальный край 345 ограничивают эллиптические секторообразные перегородки 340. Кроме этого, каждая из перегородок может иметь ближнюю сторону 346 и дальнюю сторону 347, противоположные друг другу, а также множество отстоящих друг от друга отверстий 348, проходящих сквозь перегородки 340 от ближней стороны 346 до дальней стороны 347. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближняя сторона 346 каждой перегородки 340 может быть стороной перегородки 340, ближайшей по оси ко впуску кожуха теплообменника, а дальняя сторона 347 может быть стороной каждой перегородки 340, самой дальней по оси от впуска кожуха теплообменника. Одна труба 330 из множества идущих в осевом направлении труб 330 может проходить через каждое из отверстий 348 в перегородках 340. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения отверстия 348 одной перегородки 340 могут быть так выровнены относительно отверстий другой перегородки 340, что идущие в осевом направлении трубы 330 могут проходить через отверстия 348 и опираться на множество перегородок 340. Отмечается, что каждая из перегородок 340 может иметь сквозные отверстия 348, хотя они показаны не на всех перегородках 340.

Как показано на фиг. 3, трубы 330 и сквозные отверстия 348 не доходят до самого периферийного края 343. Таким образом, при установке в кожухе (не показан), образуется зазор между кожухом и самыми дальними от центра трубами 330. Структура 341 перегородок, соответствующая описываемым вариантам осуществления изобретения, может включать множество уплотнительных стержней или уплотнительных полос 350, расположенных под некоторым углом так, что текучая среда, пропускаемая через кожух, по меньшей мере частично, направляется обратно к трубами 330. Таким образом, полосы 350 могут выполнять двойную функцию уплотнения и опоры конструкции, уменьшая количество текучей среды, которое может проходить в обход множества труб, а также поддерживая структуру 341 перегородок.

Помимо функции уплотнения и опоры, полосы 350, которые также могут быть названы уплотнительными полосами, могут располагаться таким образом, чтобы обеспечивать уплотнение при малом падении давления, создавая препятствие для потока с целью предотвращения протекания текучей среды через зазор между трубами 330 и краем 343 перегородки на всей спиральной траектории потока. В качестве альтернативы, функция препятствия для потока может выполняться другими структурами, такими как продольные полосы, имеющие, по существу, прямоугольную форму и расположенные так, что пространство между трубным пучком и кожухом эффективным образом блокируется; однако, такое препятствие для потока обеспечивается ценой значительного падения давления. В отличие от продольных полос, в описываемых вариантах осуществления изобретения предусматриваются полосы, которые разработаны и ориентированы так, чтобы обеспечивать лучшее уплотнение, опору конструкции и относительно малое падение давления, как будет более полно описано ниже.

Стержни 342, как описано выше, являются необязательными и могут быть использованы для дополнительной опоры перегородок во время установки. Таким образом, хотя на фиг. 3 показаны стержни, соединяющие перегородки друг с другом, в одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения стержни не являются обязательными для опоры и соединения перегородок 340. Напротив, как показано и описано более подробно далее, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения для опоры и взаимного соединения перегородок вокруг центрального стержня могут быть использованы полосы.

Обратимся к фиг. 4А и 4В, на которых показаны перегородки 440, соответствующие одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения множество перегородок 440 в кожухе (не показан) теплообменника (не показан) может быть соединено с центральным стержнем 423. Последовательные перегородки 440 могут быть расположены под некоторым углом к перпендикуляру к продольной оси 424 центрального стержня 423; последовательные перегородки 440 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, что образуется спиральная траектория. Вращательное смещение между последовательными перегородками 440 может быть таково, что, по меньшей мере, ближний радиальный край 444 одной перегородки 440 перекрывает дальний радиальный край 445 соседней перегородки 440 в продольном направлении. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближний радиальный край 444 каждой перегородки 440 может быть радиальным краем перегородки 440, ближайшим по оси ко впуску (не показан) кожуха (не показан) теплообменника, и дальний радиальный край 445 каждой перегородки может быть радиальным краем перегородки 440, самым дальним по оси от впуска кожуха теплообменника.

Как показано на фиг. 4А и 4В, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 440 могут быть эллиптическими секторообразными перегородками. Каждая из перегородок 440 может иметь наружный периферийный край 443, и каждый наружный периферийный край 443 может отстоять от наружного периферийного края 443 соседней перегородки 440. Каждая из перегородок также может иметь ближний радиальный край 444 у одного конца наружного периферийного края 443 и дальний радиальный край 445 у другого конца наружного периферийного края 443, таким образом, наружный периферийный край 443, ближний радиальный край 444 и дальний радиальный край 445 ограничивают эллиптические секторообразные перегородки 440. Кроме этого, каждая из перегородок может иметь ближнюю сторону 446 и дальнюю сторону 447, противоположные друг другу, а также множество отстоящих друг от друга отверстий 448, проходящих сквозь перегородки 440 от первой стороны 446 до второй стороны 447. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближняя сторона 446 каждой перегородки 440 может быть стороной перегородки 440, ближайшей ко впуску кожуха теплообменника, а дальняя сторона 447 может быть стороной каждой перегородки 440, самой дальней от впуска кожуха теплообменника. Одна труба из множества идущих в осевом направлении труб (не показаны) может проходить через отверстие 448 в перегородках 440. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения отверстия 448 одной перегородки 440 могут быть так выровнены относительно отверстий другой перегородки (не показана), что идущие в осевом направлении трубы могут опираться на множество перегородок. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения, в каждой перегородке 440 может быть выполнено центральное отверстие 449 у пересечения ближнего радиального края 444 и дальнего радиального края 445, через которое может проходить центральный стержень 423 с целью соединения каждой из перегородок 440 с центральным стержнем. Хотя на фиг. 4А и 4В показано только несколько отверстий 448, специалистам в данной области понятно, что каждая перегородка включает множество отверстий, как и перегородки, показанные, например, на фиг. 3 или 5В.

Центральное отверстие 449 каждой перегородки 440 может быть единственным образом наклонено так, чтобы перегородки 440 располагались под некоторым углом к перпендикуляру к продольной оси 424 центрального стержня 423. Кроме этого, в некоторых вариантах осуществления изобретения угол перегородки может изменяться вдоль длины теплообменника таким образом, что ближние перегородки расположены под первым углом к продольной оси, а более дальние перегородки расположены под другим углом к продольной оси. В качестве другого примера, ближние перегородки могут располагаться под первым углом к продольной оси, а более дальние перегородки могут быть последовательно расположены под увеличивающимися или уменьшающимися углами к продольной оси.

На фиг. 5В - 5Е представлено несколько видов теплообменника, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения теплообменник 500 может включать кожух 520 (фиг. 5В), через который пропускают первую текучую среду, множество идущих в осевом направлении труб 530, по которым пропускают вторую текучую среду, множество эллиптических секторообразных перегородок 540 и первое множество уплотнительных полос 550, расположенных между перегородками 540. Кожух 520 может иметь впуск (не показан) и выпуск (не показан), между которыми в кожухе 520 может протекать первая текучая среда. Кроме этого, множество труб 530, множество перегородок 540 и первое множество уплотнительных полос 550 может быть расположено в кожухе 520.

Как показано на фиг. 5А и 5В, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения множество перегородок 540 может быть расположено так, что последовательные перегородки 540 находятся под некоторым углом к прямой, перпендикулярной продольной оси кожуха 520. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 540 могут быть соединены с центральным стержнем 523 и располагаться вокруг него; последовательные перегородки 540 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, чтобы образовывалась спиральная траектория. Вращательное смещение между соседними перегородками 540 может быть таково, что, по меньшей мере, ближний радиальный край 544 одной перегородки 540 примыкает или перекрывает дальний радиальный край 545 соседней перегородки 540 в продольном направлении. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближний радиальный край 544 каждой перегородки 540 может быть радиальным краем перегородки 540, ближайшим по оси ко впуску кожуха 520 теплообменника 500, и дальний радиальный край 545 каждой перегородки 540 может быть радиальным краем перегородки 540, самым дальним по оси от впуска кожуха 520 теплообменника 500. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место равное число перегородок 540 на оборот 360° вокруг продольной оси 521, вокруг которой расположены перегородки 540. Например, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметься четыре перегородки 540 на оборот 360° вокруг продольной оси 521 кожуха 520. Хотя показано четыре эллиптических секторообразных перегородки на оборот 360° вокруг продольной оси, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может быть использовано любое число перегородок различной формы на оборот 360° вокруг продольной оси кожуха при условии, что перегородки продольно и вращательно смещены так, что образуется спиральная траектория потока.

Как показано на фиг. 5А и 5В, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 540 могут иметь форму эллиптического сектора. Каждая перегородка 540 может иметь наружный периферийный край 543, и каждый наружный периферийный край 543 может отстоять от наружного периферийного края 543 соседней перегородки 540. Каждая из перегородок также может иметь ближний радиальный край 544 у одного конца наружного периферийного края 543 и дальний радиальный край 545 у другого конца наружного периферийного края 543, таким образом, наружный периферийный край 543, ближний радиальный край 544 и дальний радиальный край 545 ограничивают эллиптические секторообразные перегородки 540. Кроме этого, каждая из перегородок 540 может иметь ближнюю сторону 546 и дальнюю сторону 547, противоположные друг другу, а также множество отстоящих друг от друга отверстий 548, проходящих сквозь перегородки 540 от ближней стороны 546 до дальней стороны 547. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближняя сторона 546 каждой перегородки 540 может быть стороной перегородки 540, ближайшей по оси ко впуску кожуха 520 теплообменника 500, а дальняя сторона 547 может быть стороной каждой перегородки 540, самой дальней по оси от впуска кожуха 520 теплообменника 500.

В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения одна труба 530 из множества идущих в осевом направлении труб 530 может проходить через отверстия 548 в перегородках 540, и направление потока второй текучей среды в трубах 530 может быть противоположно направлению потока первой текучей среды от впуска кожуха к выпуску кожуха. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения отверстия 548 одной перегородки 540 могут быть так выровнены относительно отверстий другой перегородки 540, что трубы 530 могут проходить в осевом направлении вдоль всей длины теплообменника 500, и так, что каждая из труб 530 опирается на множество перегородок 540. Кроме этого, расстояние 534 между наружными диаметрами 535 каждой из труб 530, расположенных в каждом из отверстий 548, может быть постоянным для всего множества труб 530. Кроме этого, как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения в каждой перегородке 540 может быть выполнено центральное отверстие 549 у пересечения первого радиального края 544 и второго радиального края 545, через которое может проходить центральный стержень 523 с целью соединения каждой из перегородок 540 с центральным стержнем 523. Центральное отверстие 549 каждой перегородки может быть единственным образом наклонено так, чтобы перегородки 540 располагались под некоторым углом к перпендикуляру к продольной оси 521 кожуха 520.

Кроме этого, как показано на фиг. 5А - 5Е, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 550 может быть расположено, каждая, между первой перегородкой 540 и соответствующей последующей перегородкой 540, отстоящей, по меньшей мере, на полный оборот 360° от первой перегородки 540. Кроме этого, каждая из первого множества уплотнительных полос 550 может быть расположена радиально между множеством труб 530 и внутренней поверхностью 525 кожуха 520. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения внутренняя поверхность 525 может иметь диаметр 590. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 550 может быть соединена с каждой из перегородок: первой перегородкой 540 и соответствующей последующей перегородкой 540. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 550 может быть расположено так, что каждая из первого множества

уплотнительных полос 550, по существу, перпендикулярна спиральной траектории, образуемой перегородками в кожухе 520 теплообменника 550. Как показано на фиг. 5А, 5D и 5Е, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первый конец 551 каждой из первого множества уплотнительных полос 550 может быть соединен с дальней стороной 547 одной из множества перегородок 540 между ближним радиальным краем 544 и дальним радиальным краем 545, а второй конец 552 каждой из множества уплотнительных полос 550 может быть соединен с ближней стороной 546 другой из множества перегородок 540 между ближним радиальным краем 544 и дальним радиальным краем 545.

Как показано на фиг. 5А и 5D, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 550 может быть расположена перпендикулярно и к дальней стороне 547 одной перегородки 540, и к ближней стороне 546 другой перегородки 540. Как показано на фиг. 5Е, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из множества уплотнительных полос 550 может быть присоединена между двумя перегородками 540. Как показано на фиг. 5Е, уплотнительная полоса 550 может быть расположена так, что между уплотнительной полосой 550 и прямой, перпендикулярной ближней стороне 546 одной перегородки 540 и дальней стороне другой перегородки 540 образуется угол 595. В некоторых вариантах осуществления изобретения угол 595 может составлять от более 0° до 80° . В других вариантах осуществления изобретения угол 595 может составлять от более 0° до 80° , от 15° до 45° , от 45° до 80° или от 15° до 30° . Из-за возможной утечки первой текучей среды между последовательными перегородками из множества перегородок 540, направление 522 потока первой текучей среды может немного отклоняться от спиральной траектории, образуемой множеством перегородок 540. Кроме этого, из-за возможного колебания направления потока первой текучей среды, угол 595 уплотнительной полосы 550 может изменяться так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 550 может быть перпендикулярна спиральному направлению потока первой текучей среды 522.

Как показано на фиг. 5А и 5В, перегородки 540 могут располагаться в четырех квадрантах. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительная полоса 550 может соединять первую перегородку 540 со второй перегородкой 540 в одном и том же квадранте (или одном и том же секторе, если на один оборот 360° используется отличное от четырех число перегородок). Уплотнительная полоса может быть присоединена от дальней стороны 547 первой перегородки до ближней стороны 546 второй перегородки 540 в точке рядом с дальним краем 545 второй перегородки 540, как описано выше. Например, уплотнительная полоса может соединять дальнюю сторону 547 первой перегородки 540, рядом с ближним краем 544 первой перегородки, с ближней стороной 546 второй перегородки, рядом с дальним краем 545 второй перегородки. В качестве другого примера, уплотнительная полоса может соединять дальнюю сторону 547 первой перегородки 540, рядом с ближним краем 544 первой перегородки, с дальней стороной 546 второй перегородки, рядом с ближним краем 544 второй перегородки.

В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительная полоса 550 может соединять первую перегородку 540 со второй перегородкой 540 в соседнем квадранте (секторе). Уплотнительная полоса может быть присоединена от дальней стороны 547 первой перегородки 540 до ближней стороны 546 второй перегородки 540, как описано выше. Например, в некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительная полоса может соединять дальнюю сторону 547 первой перегородки 540, посреди ближнего края 544 и дальнего края 545 первой перегородки, и ближнюю сторону 546 второй перегородки, посреди ближнего края 544 и дальнего края 545 второй перегородки.

В других вариантах осуществления изобретения теплообменник может включать несколько уплотнительных полос 550, присоединенных между перегородками 540 в одном и том же квадранте, тогда как другие уплотнительные полосы 550 могут быть присоединены между перегородками в соседних квадрантах.

В некоторых вариантах осуществления изобретения, как показано на фиг. 5Е, может быть реализован усовершенствованный теплообменник с уменьшенным падением давления, в котором уплотнительные полосы могут, отчасти, направлять поток по спирали к выпуску. Другими словами, уплотнительные полосы 550 могут быть расположены под углом H_s спирали, который меньше угла H_b спирали перегородок 540, при этом, угол спирали определяется как угол между перегородкой или полосой и продольной осью теплообменника. В некоторых вариантах осуществления изобретения угол H_s спирали уплотнительной полосы может лежать в диапазоне от более 0° до 80° , например, от нижнего предела диапазона 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° или 45° , до верхнего предела диапазона 25° , 30° , 40° , 45° , 50° , 60° , 70° , 75° или 80° , при этом, в соответствии с описываемыми вариантами осуществления, любой нижний предел может сочетаться с любым большим верхним пределом. Было обнаружено, что в некоторых вариантах осуществления изобретения полосы, характеризующиеся углом H_s спирали, большим, чем угол H_b спирали перегородки, наряду с тем, что обеспечивают лучшее уплотнение, могут прерывать спиральную траекторию потока текучей среды (т.е., пытаться повернуть поток назад к впуску). Напротив, если уплотнительные полосы способствуют созданию спиральной траектории, обеспечивается адекватное уплотнение наряду с уменьшением падения давления (по сравнению с

традиционным уплотнением) и улучшением параметров теплопередачи. В различных вариантах осуществления изобретения угол H_B перегородки может быть единообразным или может изменяться вдоль длины теплообменника. Если применяется переменный угол, например, ближние перегородки могут располагаться под первым углом (H_{B1} не показан) к продольной оси, а более дальние перегородки могут располагаться под вторым, отличным углом (H_{B2} не показан) к продольной оси. В качестве другого примера, ближние перегородки могут располагаться под первым углом к продольной оси, а более дальние перегородки могут располагаться под последовательно увеличивающимися или уменьшающимися углами к продольной оси ($H_{B1} < H_{B2} < H_{B3}$).

Как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 550 может быть расположено так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 550 перпендикулярна или, по существу, перпендикулярна спиральной траектории, образуемой перегородками в кожухе 520 теплообменника 500. В других вариантах осуществления изобретения, из-за утечки и возможного изменения направления потока первой текучей среды угол 595 уплотнительных полос 550 может изменяться так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 550 может быть перпендикулярна спиральному направлению потока первой текучей среды. Хотя желательно, чтобы первая текучая среда протекала настолько близко к геометрической траектории, насколько это возможно, понятно, что это не всегда так. Следовательно, траектория потока текучей среды может не быть перпендикулярной уплотнительной полосе 550, как показано. Утечка и количественное изменение потока первой текучей среды также могут изменяться в зависимости от свойств подаваемой текучей среды и размеров кожуха и перегородки. Таким образом, описываемые варианты осуществления изобретения могут включать оценку направления потока первой текучей среды, например, с использованием вычислительной гидродинамики или других способов моделирования или экспериментальных исследований, с целью определения угла полосы 550 с учетом ожидаемой разницы между геометрической спиральной траекторией и реальной траекторией потока текучей среды так, чтобы полоса была перпендикулярна потоку.

Хотя варианты осуществления изобретения, показанные на фиг. 5A - 5E, могут включать множество уплотнительных полос, расположенных между одной перегородкой и другой перегородкой под одним и тем же углом, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы могут быть расположены в одном теплообменнике под разными углами. Другими словами, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения одна уплотнительная полоса из множества уплотнительных полос может быть расположена перпендикулярно и к дальней стороне одной перегородки, и к ближней стороне другой перегородки, а другая уплотнительная полоса из множества уплотнительных полос может быть расположена под некоторым углом к перпендикуляру к ближней стороне одной перегородки и дальней стороне другой перегородки, при этом угол может составлять от более 0° до 80° . Таким образом, хотя в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения все уплотнительные полосы могут быть расположены в одинаковом угловом положении между перегородками, в других вариантах осуществления изобретения может быть использовано сочетание уплотнительных полос с разным угловым положением. Кроме этого, хотя в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы с первым угловым положением могут быть использованы между перегородками первых нескольких оборотов вокруг продольной оси, а уплотнительные полосы со вторым угловым положением могут быть использованы между перегородками остальных оборотов вокруг продольной оси, в других вариантах осуществления изобретения могут быть использованы разные модели сочетания уплотнительных полос с первым угловым положением и уплотнительных полос со вторым угловым положением. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения в одном теплообменнике могут быть использованы уплотнительные полосы с более чем двумя угловыми положениями в разных сочетаниях.

Кроме этого, как показано на фиг. 5B и 5C, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос может иметь криволинейную внутреннюю поверхность 553 и криволинейную наружную поверхность 554. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения криволинейная наружная поверхность 554 каждой уплотнительной полосы 550 может быть расположена, по существу, рядом с внутренней поверхностью 525 кожуха 520. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения криволинейная наружная поверхность 554 одной или нескольких уплотнительных полос 550 может иметь зазор 1-5 мм относительно внутренней поверхности 525 кожуха 520. Например, криволинейная наружная поверхность 554 одной или нескольких уплотнительных полос 550 может иметь зазор 3 мм относительно внутренней поверхности 525 кожуха 520. Кроме этого, кривизна криволинейной наружной поверхности 554 уплотнительной полосы 550 может иметь эллиптическую форму и может соответствовать кривизне внутренней поверхности 525 кожуха 520. Имея в виду, что уплотнительные полосы могут быть эллиптическими, вид уплотнительных полос может изменяться в зависимости от угла. Например, когда H_S небольшой, полосы могут быть почти прямыми. Напротив, когда H_S большой, полосы будут эллиптическими. Благодаря эллиптической форме гарантируется, что любое пространство между кожухом и полосой и пространство между трубным пучком и полосой может быть одинаковым на

всей длине полосы. Кроме этого, поскольку полосы эллиптические, они могут иметь меньший диаметр и больший диаметр (не показано), при этом диаметр кожуха, расстояние от диаметра кожуха и угол H_2 полосы могут определять эллиптическую природу полосы.

Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения кривизна криволинейной внутренней поверхности 553 каждой из первого множества уплотнительных полос 550 может иметь эллиптическую форму, и кривизна внутренней поверхности 553 может отличаться от кривизны наружной поверхности 554 каждой из первого множества уплотнительных полос 550. Другими словами, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения кривизна внутренней поверхности 553 каждой уплотнительной полосы 550 может соответствовать кривизне воображаемого цилиндра с диаметром, равным диаметру 590 внутренней поверхности 525 кожуха 520 минус радиальная ширина уплотнительной полосы 550. Кроме этого, внутренняя поверхность 553 каждой из первого множества уплотнительных полос 550 может отстоять от наружного диаметра 535 ближайшей трубы 530 из множества идущих в осевом направлении труб 530 на расстояние 557. Расстояние 557 между внутренней поверхностью 553 уплотнительной полосы 550 и наружным диаметром 535 ближайшей трубы 530 может быть равно расстоянию 534 между наружными диаметрами 535 двух соседних труб 530. Кроме этого, первое множество уплотнительных полос 550 может быть отклонено от наружной поверхности 554 к внутренней поверхности 553 под некоторым углом 556 от прямой 555, перпендикулярной кожуху 520 в направлении потока 522 первой текучей среды. Например, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 550, которые расположены перпендикулярно к наклонным перегородкам 540, может быть отклонена на $15-45^\circ$ от прямой 555, перпендикулярной кожуху 520, так, что поток 522 первой текучей среды вступает в контакт с уплотнительной полосой под углом $105-135^\circ$ и поворачивается в сторону множества труб 530. Кроме этого, первое множество уплотнительных полос 550 может иметь толщину 558; большая толщина 558 может быть использована для теплообменника 500 с большим диаметром 590 внутренней поверхности 525 кожуха 520.

Каждая из первого множества уплотнительных полос 550, как описано в настоящем документе для некоторых вариантов осуществления изобретения, может иметь наружный диаметр, который характеризуется некоторой эллиптической кривизной, и/или, при этом, каждая из первого множества уплотнительных полос имеет внутренний диаметр, который характеризуется некоторой эллиптической кривизной. В других вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 550 могут быть шире в тех областях, где зазор между пучком и кожухом больше. Поскольку тип решетки отверстий в перегородках может не оканчиваться круговым расположением самых удаленных от центра отверстий, уплотнительная полоса с переменной шириной может обеспечивать лучшее уплотнение. В некоторых вариантах осуществления изобретения такая ширина может быть обеспечена путем изменения эллиптической кривизны внутреннего и наружного диаметра уплотнительных полос. В других вариантах осуществления изобретения ширина может изменяться систематически, в соответствии с профилем зазора или так, чтобы обеспечивать надлежащий профиль зазора между внутренним диаметром уплотнительных полос и каждой из соответствующих труб. Точно так же, может изменяться глубина уплотнительных полос. Так, в различных вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос может иметь ширину, наружный диаметр минус внутренний диаметр, изменяющуюся вдоль длины, от первого конца ко второму концу уплотнительной полосы, и/или каждая из первого множества уплотнительных полос может иметь глубину, от ближней стороны к дальней стороне, изменяющуюся вдоль ширины или длины уплотнительной полосы.

Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения число первых полос 550 первого множества на оборот 360° вокруг продольной оси 521 может быть кратно числу перегородок на оборот 360° вокруг продольной оси 521. Кроме этого, число уплотнительных полос 550 первого множества, расположенных между перегородкой 540 и соответствующей последующей перегородкой 540, отстоящей на полный оборот 360° от перегородки 540, может быть одинаковым для всех перегородок 540 из множества перегородок 540. Например, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место четыре перегородки 540 на оборот 360° вокруг продольной оси 521, и может иметь место четыре уплотнительных полосы 550 первого множества на оборот 360° вокруг продольной оси 521; таким образом, имеется одна уплотнительная полоса 550 первого множества на одну перегородку 540 на оборот 360° вокруг продольной оси 521. В других вариантах осуществления изобретения может иметь место четыре перегородки 540 на оборот 360° вокруг продольной оси 521, и может иметь место восемь уплотнительных полос 550 первого множества на оборот 360° вокруг продольной оси 521; таким образом, имеется две уплотнительных полосы 550 первого множества на одну перегородку 540 на оборот 360° вокруг продольной оси 521. Число уплотнительных полос 550 первого множества на оборот 360° вокруг продольной оси 521 может зависеть от размера внутренней поверхности 525 кожуха 520, количества труб 530, размещенных в теплообменнике, и расстояния 534 между наружными диаметрами 535 множества труб 530. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения одна уплотнительная полоса 550 первого множества

может располагаться в кожухе 520 на каждые восемь - десять рядов труб 530, размещенных в теплообменнике 500.

Кроме этого, как показано на фиг. 5А, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения, по меньшей мере, одна из первого множества уплотнительных полос 550 может быть соединена с ближней стороной 546 перегородки 540, и, по меньшей мере, одна из первого множества уплотнительных полос 550 может быть соединена с дальней стороной 547 перегородки 540. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 550, которая соединена с дальней стороной 547 каждой из множества перегородок 540, может быть вращательно смещена вокруг продольной оси 521 кожуха 520 от каждой из первого множества уплотнительных полос 550, которая соединена с ближней стороной 546 каждой из множества перегородок 540. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения вращательное смещение уплотнительных полос 550 может следовать определенной модели на всей длине теплообменника 500. Кроме этого, хотя на фиг. 5А показано вращательное смещение соседних уплотнительных полос 550, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения соседние уплотнительные полосы 550 продольно могут находиться на одной прямой вдоль всей длины теплообменника. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 550 может быть выполнено из стали.

В других вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 550 может быть расположено так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 550, по существу, параллельна (по существу, параллельна, означает $\pm 1^\circ$ или иной небольшой производственный допуск) продольной оси теплообменника. Будучи параллельной продольной оси, каждая уплотнительная полоса должна быть соединена с ближней перегородкой 540 и соседней в продольном направлении дальней перегородкой 540. Было обнаружено, что по сравнению с существующей практикой выполнения отверстия для уплотнительной полосы в каждой перегородке и использования одной, длинной уплотнительной полосы от одного до другого конца теплообменника, индивидуальные уплотнительные полосы между соседними в продольном направлении перегородками обеспечивают и лучшее уплотнение, и меньшее падение давления. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы, соединенные с соседними в продольном направлении перегородками, могут быть смещены по окружности. Например, каждая из множества перегородок может быть соединена, по меньшей мере, с двумя уплотнительными полосами 550, включая дальнюю уплотнительную полосу 550, соединенную с дальней стороной перегородки, и ближнюю уплотнительную полосу 550, соединенную с ближней стороной той же перегородки, при этом, ближняя уплотнительная полоса смещена по окружности относительно дальней уплотнительной полосы. В некоторых вариантах осуществления изобретения смещение по окружности может составлять по меньшей мере 10° , по меньшей мере 15° или по меньшей мере 20° , но обязательно меньше, чем общее число градусов соответствующего эллиптического сектора секторообразной перегородки. Таким образом, смещенные вращательно или по окружности уплотнительные полосы могут включать одну, две или более уплотнительных полос, соединенных с ближней стороной перегородки, а также одну, две или более уплотнительных полос, соединенных с дальней стороной перегородки, при этом число уплотнительных полос, соединенных с дальней и ближней сторонами, может быть одинаковым в некоторых секторах и неодинаковым в других секторах. В некоторых вариантах осуществления изобретения одинаковое число уплотнительных полос может быть соединено с каждой перегородкой из множества перегородок. В других вариантах осуществления изобретения не с каждой перегородкой из множества перегородок может быть соединена уплотнительная полоса. Например, если на оборот 360° используется четыре перегородки, охватывающие квадранты А, В, С и D, то уплотнительные полосы могут быть использованы, например, только в квадрантах А и С или В и D; в других вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы могут быть использованы, например, в каждом трех квадрантах (последовательно А, D, С, В, А...). Число и расположение уплотнительных полос может зависеть от требований к уплотнению и конструктивных требований конкретного теплообменника.

На фиг. 6А - 6D показаны части теплообменников 600, соответствующих нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. Как описано выше в отношении фиг. 5А - 5Е, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения теплообменник 600 может включать множество эллиптических секторообразных перегородок 640 и первое множество уплотнительных полос 650, расположенных между перегородками 640. Каждая из первого множества уплотнительных полос 650 может находиться между первой перегородкой 640 и соответствующей последующей перегородкой 640, отстоящей на полный оборот 360° от первой перегородки 640. Кроме этого, первый конец 651 каждой из первого множества уплотнительных полос 650 может быть соединен с дальней стороной 647 одной из множества перегородок 640 между ближним радиальным краем 644 и дальним радиальным краем 645, а второй конец 652 каждой из множества уплотнительных полос 650 может быть соединен с ближней стороной 646 другой из множества перегородок 640 между ближним радиальным краем 644 и дальним радиальным краем 645. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближний радиальный край 644 каждой перегородки 640 может быть радиальным краем перегородки 640,

ближайшим ко впуску кожуха теплообменника 600, и дальний радиальный край 645 каждой перегородки 640 может быть радиальным краем перегородки 640, самым дальним от впуска кожуха теплообменника 600. Точно так же, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближняя сторона 646 каждой перегородки 640 может быть стороной перегородки 640, ближайшей ко впуску кожуха теплообменника 600, а дальняя сторона 647 может быть стороной каждой перегородки 640, самой дальней от впуска кожуха теплообменника 600.

Как показано на фиг. 6А, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 650 может быть расположена перпендикулярно и к дальней стороне 647 одной перегородки 640, и к ближней стороне 646 другой перегородки 640. В других вариантах осуществления изобретения множество уплотнительных полос 650 может быть расположено под углом (не показан) к перпендикуляру к ближней стороне 646 одной перегородки и дальней стороне 647 другой перегородки 640, при этом, угол может составлять от более 0° до 80°.

Как показано только для примера на фиг. 6В, уплотнительные полосы 650 могут быть присоединены между первой перегородкой 640 и второй перегородкой 640 в одном и том же квадранте. Каждая из множества уплотнительных полос может быть расположена под углом к перпендикуляру к ближней стороне 646 первой перегородки 640, и угол может составлять от более 45° до 80° в направлении, определяемом от дальнего радиального края 645 к ближнему радиальному краю 644 второй перегородки 640. Кроме этого, как описано выше, в других вариантах осуществления изобретения этот угол может составлять от более 0° до 30°, от 15° до 45° или от 15° до 30°. Из-за возможной утечки первой текучей среды между последовательными перегородками из множества перегородок 640, направление потока первой текучей среды может немного отклоняться от спиральной траектории, образуемой множеством перегородок 640. Кроме этого, из-за возможного колебания направления потока первой текучей среды, угол уплотнительных полос 650 может изменяться так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 650 может быть перпендикулярна спиральному направлению потока первой текучей среды.

Как показано только для примера на фиг. 6С, уплотнительные полосы 650 могут быть присоединены между первой перегородкой 640 в первом квадранте и второй перегородкой 640 в соседнем квадранте. Каждая из множества уплотнительных полос может быть расположена под углом к перпендикуляру к ближней стороне 646 первой перегородки 640, и угол может составлять от более 45° до 80° в направлении, определяемом от дальнего радиального края 645 к ближнему радиальному краю 644 второй перегородки 640. Кроме этого, как описано выше, в других вариантах осуществления изобретения этот угол может составлять от более 0° до 30°, от 15° до 45° или от 15° до 30° в направлении, определяемом от дальнего радиального края 645 к ближнему радиальному краю 644 второй перегородки 640. Из-за возможной утечки первой текучей среды между последовательными перегородками из множества перегородок 640, направление потока первой текучей среды может немного отклоняться от спиральной траектории, образуемой множеством перегородок 640. Кроме этого, из-за возможного колебания направления потока первой текучей среды, угол уплотнительных полос 650 может изменяться так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 650 может быть перпендикулярна спиральному направлению потока первой текучей среды.

В некоторых вариантах осуществления изобретения, некоторые уплотнительные полосы могут быть присоединены между перегородками 640 в одном и том же квадранте, как показано на фиг. 6В, тогда как другие уплотнительные полосы 650 могут быть присоединены между перегородками 640 в соседних квадрантах, как показано на фиг. 6С.

Хотя варианты осуществления изобретения, показанные на фиг. 6А - 6С, могут включать множество уплотнительных полос 650, расположенных под одним и тем же углом между одной перегородкой 640 и другой перегородкой 640, ссылаясь на фиг. 6С, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 650 могут быть расположены под разными углами (не показано) в одном и том же теплообменнике. Другими словами, ссылаясь на фиг. 6С, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения одна уплотнительная полоса 650а из множества уплотнительных полос 650 может быть расположена перпендикулярно и к дальней стороне 647 перегородки 640, и к ближней стороне 646 другой перегородки 640, а другая уплотнительная полоса 650b из множества уплотнительных полос 650 может быть расположена под некоторым углом к перпендикуляру к ближней стороне 646 одной перегородки и дальней стороне 647 другой перегородки 640, при этом угол может составлять от более 0° до 80°. Таким образом, хотя в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения все уплотнительные полосы 650 могут быть расположены в одинаковом угловом положении между перегородками, в других вариантах осуществления изобретения может быть использовано сочетание уплотнительных полос 650 с разным угловым положением. Кроме этого, хотя в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 650а с первым угловым положением могут быть использованы между перегородками 640 первых нескольких оборотов вокруг продольной оси, а уплотнительные полосы 650b со вторым угловым положением могут быть использованы между перегородками остальных оборотов вокруг продольной оси, в других вариантах осуществления изобретения могут быть использованы разные модели сочетания

уплотнительных полос 650a с первым угловым положением и уплотнительных полос 650b со вторым угловым положением. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения в одном теплообменнике могут быть использованы уплотнительные полосы с более, чем двумя угловыми положениями, в разных сочетаниях. В некоторых вариантах осуществления изобретения и угловое положение уплотнительных полос, и квадранты, между которыми размещены уплотнительные полосы, могут изменяться в одном и том же теплообменнике.

Обратимся к фиг. 7, где показана часть теплообменника 700, соответствующая одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения теплообменник 700 может включать кожух (не показан), через который пропускают первую текучую среду, множество идущих в осевом направлении труб 730, по которым пропускают вторую текучую среду, множество эллиптических секторообразных перегородок 740 и первое множество уплотнительных полос 750, расположенных между перегородками 740. Кожух может иметь выпуск (не показан) и выпуск (не показан), между которыми в кожухе может протекать первая текучая среда. Кроме этого, множество труб 730, множество перегородок 740 и первое множество уплотнительных полос 750 может быть расположено в кожухе.

Как показано на фиг. 7, подобно теплообменникам, описанным выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения множество перегородок 740 может быть расположено так, что последовательные перегородки 740 находятся под некоторым углом к прямой, перпендикулярной продольной оси (не показана) кожуха. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 740 могут быть соединены вокруг продольной оси; последовательные перегородки 740 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, чтобы образовывалась спиральная траектория. Вращательное смещение между соседними перегородками 740 может быть таково, что, по меньшей мере, ближний радиальный край 744 одной перегородки 740 перекрывает дальний радиальный край 745 соседней перегородки 740 в продольном направлении. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближний радиальный край 744 каждой перегородки 740 может быть радиальным краем перегородки 740, ближайшим ко впуску кожуха теплообменника 700, и дальний радиальный край 745 каждой перегородки 740 может быть радиальным краем перегородки 740, самым дальним от впуска кожуха теплообменника 700. Кроме этого, как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место равное число перегородок 740 на оборот 360° вокруг продольной оси, вокруг которой расположены перегородки 740.

Также со ссылкой на фиг. 7, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 740 могут иметь форму эллиптического сектора. Каждая перегородка 740 может иметь наружный периферийный край 743, и каждый наружный периферийный край 743 может отстоять от наружного периферийного края 743 соседней перегородки 740. Каждая из перегородок 740 также может иметь ближний радиальный край 744 у одного конца наружного периферийного края 743 и дальний радиальный край 745 у другого конца наружного периферийного края 743, таким образом, наружный периферийный край 743, ближний радиальный край 744 и дальний радиальный край 745 ограничивают эллиптические секторообразные перегородки 740. Кроме этого, каждая из перегородок 740 может иметь ближнюю сторону 746 и дальнюю сторону 747, противоположные друг другу, а также множество отстоящих друг от друга отверстий (не показаны), проходящих сквозь перегородки 740 от ближней стороны 746 до дальней стороны 747. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближняя сторона 746 каждой перегородки 740 может быть стороной перегородки 740, ближайшей ко впуску кожуха теплообменника 700, а дальняя сторона 747 может быть стороной каждой перегородки 740, самой дальней от впуска кожуха теплообменника 700. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения одна труба 730 из множества идущих в осевом направлении труб 730 может проходить через отверстия в перегородках 740. Следовательно, как описано выше, множество труб 730 может проходить в осевом направлении вдоль всей длины теплообменника 700, и каждая из труб 730 может опираться на множество перегородок 740, расположенных на одинаковом расстоянии вдоль длины трубы 730. Кроме этого, расстояние между наружными диаметрами труб 730, размещенных в каждом из отверстий, может быть постоянно для всего множества труб 730.

Кроме этого, как показано на фиг. 7, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 750 может находиться между первой перегородкой 740 и соответствующей последующей перегородкой 740, отстоящей на полный оборот 360° от первой перегородки 740. Кроме этого, каждая из первого множества уплотнительных полос 750 может быть расположена радиально между множеством труб 730 и диаметром внутренней поверхности кожуха. Как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 750 может быть соединена с каждой первой перегородкой 740 и соответствующей последующей перегородкой. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 750 может быть расположено так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 750 перпендикулярна направлению спирального потока первой текучей среды в кожухе теплообменника 700. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первый конец 751 каждой из первого множества уплотнительных полос 750

может быть соединен с дальней стороной 747 одной из множества перегородок 740 между ближним радиальным краем 744 и дальним радиальным краем 745, а второй конец 752 каждой из первого множества уплотнительных полос 750 может быть соединен с ближней стороной 746 другой из множества перегородок 740 между ближним радиальным краем 744 и дальним радиальным краем 745.

Как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 750 может быть расположена перпендикулярно и к дальней стороне 747 одной перегородки 740, и к ближней стороне 746 другой перегородки 740. Кроме этого, в других вариантах осуществления изобретения каждая из множества уплотнительных полос 750 может быть расположена под некоторым углом (не показан) к перпендикуляру к ближней стороне 746 одной перегородки 740 и дальней стороне 747 другой перегородки 740; угол может составлять от более 0° до 80°. В других вариантах осуществления изобретения этот угол может составлять от более 0° до 30°, от 15° до 45°, от 45° до 80° или от 15° до 30°. Из-за возможной утечки первой текучей среды между последовательными перегородками из множества перегородок 740, направление потока первой текучей среды может немного отклоняться от спиральной траектории, образуемой множеством перегородок 740. Кроме этого, из-за возможного колебания направления потока первой текучей среды, угол уплотнительных полос 750 может изменяться так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 750 может быть перпендикулярна спиральному направлению потока первой текучей среды. Перегородки 740 могут быть распложены в квадрантах. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 750 могут быть присоединены между перегородками 740, находящимися в одном и том же квадранте. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 750 могут быть присоединены между перегородками 740, находящимися в соседних квадрантах. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 750 могут быть присоединены между перегородками 740, находящимися в одном и том же квадранте, и перегородками 740, находящимися в соседних квадрантах.

Кроме этого, как показано на фиг. 7, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 750 может иметь, по существу, такую же конструкцию, как и у первого множества уплотнительных полос, описанных выше со ссылкой на фиг. 5A - 5E и 6A - 6D. Следовательно, первое множество уплотнительных полос может иметь криволинейную внутреннюю поверхность и криволинейную наружную поверхность. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения криволинейная наружная поверхность каждой уплотнительной полосы 750 может быть расположена, по существу, рядом с внутренней поверхностью кожуха. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения криволинейная наружная поверхность одной или нескольких уплотнительных полос 750 может контактировать с внутренней поверхностью кожуха. Кроме этого, кривизна криволинейной наружной поверхности уплотнительной полосы 750 может иметь эллиптическую форму и может соответствовать кривизне внутренней поверхности кожуха.

Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения кривизна криволинейной внутренней поверхности каждой из первого множества уплотнительных полос 750 может иметь эллиптическую форму, и кривизна внутренней поверхности может отличаться от кривизны наружной поверхности каждой из первого множества уплотнительных полос 750. Другими словами, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения кривизна внутренней поверхности каждой уплотнительной полосы 750 может соответствовать кривизне воображаемого цилиндра с диаметром, равным диаметру внутренней поверхности кожуха минус радиальная ширина уплотнительной полосы 750. Кроме этого, внутренняя поверхность каждой из первого множества уплотнительных полос 750 может отстоять от наружного диаметра ближайшей трубы 730 из множества идущих в осевом направлении труб 730 на некоторое расстояние. Расстояние между внутренней поверхностью уплотнительной полосы 750 и наружным диаметром ближайшей трубы 730 может быть равно расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб 730. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 750 может быть отклонено от наружной поверхности к внутренней поверхности под некоторым углом от прямой, перпендикулярной кожуху в направлении потока первой текучей среды. Кроме этого, первое множество уплотнительных полос 750 может иметь толщину, изменяющуюся в зависимости от диаметра внутренней поверхности кожуха.

Как показано также на фиг. 7, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения, по меньшей мере, одна из первого множества уплотнительных полос 750 может быть соединена с ближней стороной 746 перегородки 740, и, по меньшей мере, одна из первого множества уплотнительных полос 750 может быть соединена с дальней стороной 747 перегородки 740. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 750, которая соединена с дальней стороной 747 каждой из множества перегородок 740, может быть выровнена в продольном направлении с каждой из первого множества уплотнительных полос 750, которая соединена с ближней стороной 746 каждой из множества перегородок 740 в направлении, параллельном продольной оси кожуха теплообменника 700. Как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения число уплотнительных полос 750 первого множества,

расположенных между одной перегородкой 740 и соответствующей последующей перегородкой 740, отстоящей на полный оборот 360° от первой перегородки 740, может быть одинаковым для всех перегородок 740 из множества перегородок 740, таким образом, число уплотнительных полос 750 первого множества на оборот 360° вокруг продольной оси может быть кратным числу перегородок 740 на оборот 360° вокруг продольной оси.

На фиг. 8 показана часть теплообменника 800, соответствующего одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения теплообменник 800 может включать кожух (не показан), через который пропускают первую текучую среду, множество идущих в осевом направлении труб 830, по которым пропускают вторую текучую среду, множество эллиптических секторообразных перегородок 840, первое множество уплотнительных полос 850, расположенных между перегородками 840, и второе множество уплотнительных полос 860, расположенных между перегородками 840. Кожух может иметь впуск (не показан) и выпуск (не показан), между которыми в кожухе может протекать первая текучая среда. Кроме этого, множество труб 830, множество перегородок 840, первое множество уплотнительных полос 850 и второе множество уплотнительных полос 860 может быть расположено в кожухе.

Как показано на фиг. 8, подобно теплообменникам, описанным выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения множество перегородок 840 может быть расположено так, что последовательные перегородки 840 находятся под некоторым углом к прямой, перпендикулярной продольной оси (не показана) кожуха. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 840 могут быть соединены вокруг продольной оси; последовательные перегородки 840 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, чтобы образовывалась спиральная траектория. Вращательное смещение между соседними перегородками 840 может быть таково, что, по меньшей мере, ближний радиальный край 844 одной перегородки 840 перекрывает дальний радиальный край 845 соседней перегородки 840 в продольном направлении. Кроме этого, продольное смещение перекрывающихся ближнего радиального края 844 и дальнего радиального края 845 между последовательными перегородками может создавать зазор 870 между ближним радиальным краем 844 и дальним радиальным краем 845, через который может проходить поток первой текучей среды. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближний радиальный край 844 каждой перегородки 840 может быть радиальным краем перегородки 840, ближайшим ко впуску кожуха теплообменника 800, и дальний радиальный край 845 каждой перегородки 840 может быть радиальным краем перегородки 840, самым дальним от впуска кожуха теплообменника 800. Кроме этого, как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место равное число перегородок 840 на оборот 360° вокруг продольной оси, вокруг которой расположены перегородки 840.

Также со ссылкой на фиг. 8, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения перегородки 840 могут иметь форму эллиптического сектора. Каждая перегородка 840 может иметь наружный периферийный край 843, и каждый наружный периферийный край 843 может отстоять от наружного периферийного края 843 соседней перегородки 840. Каждая из перегородок 840 также может иметь ближний радиальный край 844 у одного конца наружного периферийного края 843 и дальний радиальный край 845 у другого конца наружного периферийного края 843, таким образом, наружный периферийный край 843, ближний радиальный край 844 и дальний радиальный край 845 ограничивают эллиптические секторообразные перегородки 840. Кроме этого, каждая из перегородок 840 может иметь ближнюю сторону 846 и дальнюю сторону 847, противоположные друг другу, а также множество отстоящих друг от друга отверстий (не показаны), проходящих сквозь перегородки 840 от ближней стороны 846 до дальней стороны 847. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения ближняя сторона 846 каждой перегородки 840 может быть стороной перегородки 840, ближайшей ко впуску кожуха теплообменника 800, а дальняя сторона 847 может быть стороной каждой перегородки 840, самой дальней от впуска кожуха теплообменника 800. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения одна труба 830 из множества идущих в осевом направлении труб 830 может проходить через каждое из отверстий в перегородках 840. Следовательно, как описано выше, множество труб 830 может проходить в осевом направлении вдоль всей длины теплообменника 800, и каждая из труб 830 может опираться на множество перегородок 840, расположенных на одинаковом расстоянии вдоль длины трубы 830. Кроме этого, расстояние между наружными диаметрами труб 830, размещенных в каждом из отверстий, может быть постоянно для всего множества труб 830.

Кроме этого, как показано на фиг. 8, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 850 может находиться между первой перегородкой 840 и соответствующей последующей перегородкой 840, отстоящей на полный оборот 360° от первой перегородки 840. Кроме этого, каждая из первого множества уплотнительных полос 850 может быть расположена радиально между множеством труб 830 и диаметром внутренней поверхности кожуха. Как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 850 может быть соединена с каждой первой перегородкой 840 и соответствующей последующей перегородкой 840. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество уплотнительных полос 850 может быть расположено так, что каждая из

первого множества уплотнительных полос 850 перпендикулярна направлению спирального потока первой текучей среды в кожухе теплообменника 800. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первый конец 851 каждой из первого множества уплотнительных полос 850 соединен с дальней стороной 847 одной из множества перегородок 840 между ближним радиальным краем 844 и дальним радиальным краем 845, а второй конец 852 каждой из первого множества уплотнительных полос 850 соединен с ближней стороной 846 другой из множества перегородок 840 между ближним радиальным краем 844 и дальним радиальным краем 845.

Как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 850 может быть расположена перпендикулярно и к дальней стороне 847 одной перегородки 840, и к ближней стороне 846 другой перегородки 840. Кроме этого, в других вариантах осуществления изобретения каждая из множества уплотнительных полос 850 может быть расположена под некоторым углом (не показан) к перпендикуляру к ближней стороне 846 одной перегородки 840 и дальней стороне 847 другой перегородки 840; угол может составлять от более 0° до 80°. В других вариантах осуществления изобретения этот угол может составлять от более 0° до 30°, от 15° до 45°, от 45° до 80° или от 15° до 30°. Из-за возможной утечки первой текучей среды между последовательными перегородками из множества перегородок 840, направление потока первой текучей среды может немного отклоняться от спиральной траектории, образуемой множеством перегородок 840. Кроме этого, из-за возможного колебания направления потока первой текучей среды, угол уплотнительных полос 850 может изменяться так, что каждая из первого множества уплотнительных полос 850 может быть перпендикулярна спиральному направлению потока первой текучей среды.

Перегородки 740 могут быть расположены в квадрантах. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 750 могут быть присоединены между перегородками 740, находящимися в одном и том же квадранте. В некоторых вариантах осуществления изобретения уплотнительные полосы 750 могут быть присоединены между перегородками 740, находящимися в соседних квадрантах.

Кроме этого, как показано на фиг. 8, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 850 может иметь, по существу, такую же конструкцию, как и у первого множества уплотнительных полос, описанных выше со ссылкой на фиг. 5А - 7. Следовательно, первое множество уплотнительных полос 850 может иметь криволинейную внутреннюю поверхность и криволинейную наружную поверхность. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения, по меньшей мере, одна из первого множества уплотнительных полос 850 может быть соединена с ближней стороной 846 перегородки 840, и, по меньшей мере, одна из первого множества уплотнительных полос 850 может быть соединена с дальней стороной 847 перегородки 840. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества уплотнительных полос 850, которая соединена с дальней стороной 847 каждой из множества перегородок 840, может быть выровнена в продольном направлении с каждой из первого множества уплотнительных полос 850, которая соединена с ближней стороной 846 каждой из множества перегородок 840 в направлении, параллельном продольной оси кожуха теплообменника 800. Кроме этого, как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения число уплотнительных полос 850 первого множества, расположенных между одной перегородкой 840 и соответствующей последующей перегородкой 840, отстоящей на полный оборот 360° от первой перегородки 840, может быть одинаковым для всех перегородок 840 из множества перегородок 840, таким образом, число уплотнительных полос 850 первого множества на оборот 360° вокруг продольной оси может быть кратным числу перегородок на оборот 360° вокруг продольной оси.

Как показано также на фиг. 8, каждая из второго множества уплотнительных полос 860 может быть расположена между одной перегородкой 840 и последующей перегородкой 840 в зазоре 870, образованном между ближней стороной 846 одной из перегородок 840 и дальней стороной 847 последующей перегородки 840 в области, где дальний радиальный край 845 одной перегородки 840 перекрывает ближний радиальный край 844 последующей перегородки 840. Кроме этого, каждая уплотнительная полоса 860 второго множества может быть соединена с перегородками 840 в направлении, параллельном продольной оси кожуха теплообменника 800, и второе множество уплотнительных полос 860 может быть размещено радиально между кожухом и множеством труб 830. Кроме этого, каждая уплотнительная полоса 860 второго множества может иметь первый конец 861, который может быть присоединен рядом с ближним радиальным краем 844 дальней стороны 847 одной из множества перегородок 840, и второй конец 862, который может быть присоединен у дальнего радиального края 845 ближней стороны 846 другой из множества перегородок. Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая уплотнительная полоса 860 второго множества может иметь форму трапеции с внутренней поверхностью 863 и наружной поверхностью 864. Внутренняя поверхность 863 каждой уплотнительной полосы 860 второго множества может отстоять от наружного диаметра ближайшей трубы 830 из множества идущих в осевом направлении труб 830 на некоторое расстояние, которое может быть равно расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб 830 множества идущих в осевом направлении труб 830. Кроме этого, в одном или

нескольких вариантах осуществления изобретения число уплотнительных полос 860 второго множества, расположенных между перегородкой 840 и последующей перегородкой 840 в зазоре 870, образованном в области перекрытия между перегородками 840, может быть равно числу перегородок на оборот 360° вокруг продольной оси.

На фиг. 9 показан теплообменник 900, соответствующий одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 9 показан теплообменник с двойной спиральной траекторией потока, который может включать описанные выше полосы, расположенные между спиралями. Хотя полосы для четкости отображения траектории потока не показаны, нижеследующее описание охватывает эти полосы и поясняет, как эти полосы могут быть включены в теплообменник со множеством спиральных траекторий потока.

В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения теплообменник 900 может включать кожух 920, через который пропускают первую текучую среду, множество идущих в осевом направлении труб (не показаны), через которые пропускают вторую текучую среду, первое множество эллиптических секторообразных перегородок 940, второе множество эллиптических секторообразных перегородок 980, смещенное в продольном направлении относительно первого множества эллиптических секторообразных перегородок 940, первое множество уплотнительных полос (не показано), каждая из которых расположена между первой перегородкой 940 и второй перегородкой 980, и второе множество уплотнительных полос 960, расположенных между перегородками 940. Кожух может включать впуск 928 и выпуск (не показан), между которыми в кожухе может проходить первая текучая среда. Кроме этого, множество труб, первое множество перегородок 940, второе множество перегородок 980, первое множество уплотнительных полос и второе множество уплотнительных полос может быть расположено в кожухе 920.

Как показано на фиг. 9, подобно теплообменникам, описанным выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество перегородок 940 может быть расположено так, что последовательные первые перегородки 940 находятся под некоторым углом к прямой, перпендикулярной продольной оси 921 кожуха 920. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения первое множество перегородок 940 может быть соединено вокруг продольной оси 921 кожуха 920; и последовательные первые перегородки 940 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, чтобы образовывалась спиральная траектория. Вращательное смещение между последовательными первыми перегородками 940 может быть таково, что, по меньшей мере, первый радиальный край (не показан) одной первой перегородки 940 перекрывает второй радиальный край (не показан) соседней первой перегородки 940 в продольном направлении. Кроме этого, продольное смещение перекрывающихся первого радиального края и второго радиального края между последовательными первыми перегородками 940 может создавать зазор между первым радиальным краем и вторым радиальным краем, через который может проходить поток первой текучей среды. Кроме этого, как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место равное число первых перегородок 940 на оборот 360° вокруг продольной оси 921, вокруг которой расположено первое множество перегородок 940.

Точно так же, второе множество перегородок 980 может быть расположено так, что последовательные вторые перегородки 980 находятся под некоторым углом к прямой, перпендикулярной продольной оси 921 кожуха 920. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения второе множество перегородок 980 может быть соединено вокруг продольной оси 921 кожуха 920; и последовательные вторые перегородки 980 могут быть вращательно и продольно смещены друг относительно друга так, чтобы образовывалась спиральная траектория, по существу, идентичная спиральной траектории первого множества перегородок 940. Вращательное смещение между последовательными вторыми перегородками 980 может быть таково, что, по меньшей мере, первый радиальный край (не показан) одной второй перегородки 980 перекрывает второй радиальный край (не показан) соседней второй перегородки 980 в продольном направлении. Кроме этого, продольное смещение перекрывающихся первого радиального края и второго радиального края между последовательными вторыми перегородками 980 может быть таким же, как продольное смещение первых перегородок 940, и может создавать такой же зазор между первым радиальным краем и вторым радиальным краем, через который может проходить поток первой текучей среды. Кроме этого, как описано выше, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения может иметь место равное число вторых перегородок 980 на оборот 360° вокруг продольной оси 921, вокруг которой расположено второе множество перегородок 980. Кроме этого, второе множество перегородок 980 может быть смещено в продольном направлении относительно первого множества перегородок 940 так, что траектория потока между последовательными оборотами первых перегородок 940 разделена на две отдельные траектории потока. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения второе множество перегородок может быть смещено в продольном направлении от первого множества перегородок на половину расстояния между первыми перегородками 940, отстоящими друг от друга на оборот 360° .

Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая из первого множества перегородок 940 и второго множества перегородок 980 может иметь форму эллиптического сектора. Каждая перегородка 940, 980 может иметь наружный периферийный край (не показан), и каждый наружный периферийный край может отстоять от наружного периферийного края соседней перегородки 940, 980. Каждая из перегородок 940, 980 также может иметь первый радиальный край у одного конца наружного периферийного края и второй радиальный край у другого конца наружного периферийного края, таким образом, наружный периферийный край, первый радиальный край и второй радиальный край ограничивают эллиптические секторообразные перегородки 940, 980. Кроме этого, каждая из перегородок 940, 980 может иметь первую сторону (не показана) и вторую сторону (не показана), противоположные друг другу, а также множество отстоящих друг от друга отверстий (не показаны), проходящих сквозь перегородки 940, 980 от первой стороны до второй стороны. В одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая первая перегородка 940 может быть выровнена относительно соседней второй перегородки 980 так, что отверстия каждой первой перегородки 940 выровнены с отверстиями соседней второй перегородки 980, и одна труба из множества идущих в осевом направлении труб может проходить через каждое из отверстий в перегородках 940, 980. Следовательно, как описано выше, множество труб может проходить в осевом направлении вдоль всей длины теплообменника 900, и каждая из труб может опираться на множество перегородок каждого из первого множества перегородок 940 и второго множества перегородок 980. Кроме этого, расстояние между наружными диаметрами труб, размещенных в каждом из отверстий, может быть постоянно для всего множества труб.

Кроме этого, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения каждая уплотнительная полоса первого множества может быть расположена между первой перегородкой первого множества перегородок 940 и соответствующей соседней перегородкой второго множества перегородок 940, которая соотнесена с первой перегородкой первого множества перегородок 940. Другими словами, каждая из первого множества уплотнительных полос может быть присоединена между первой стороной или второй стороной одной из первого множества перегородок 940 и, соответственно, первой стороной или второй стороной одной из второго множества перегородок 980. Кроме этого, каждая уплотнительная полоса первого множества может быть расположена в кожухе 920 теплообменника 900, как описано выше в отношении других вариантов осуществления изобретения, и каждая уплотнительная полоса первого множества может иметь, по существу, такую же конструкцию, что и первое множество уплотнительных полос, как описано выше в отношении других вариантов осуществления изобретения. Кроме этого, каждая уплотнительная полоса второго множества может быть расположена между одной из первого множества перегородок 940 и последующей перегородкой первого множества перегородок 940 и между одной из второго множества перегородок 980 и последующей перегородкой из второго множества перегородок 980 в зазоре, образованном между первой стороной одной из перегородок 940, 980 и второй стороной последующей перегородки 940, 980 в области, где первый радиальный край одной из перегородок 940, 980 перекрывает второй радиальный край последующей перегородки 940, 980. Кроме этого, каждая уплотнительная полоса второго множества может быть расположена в кожухе 920 теплообменника 900, как описано выше в отношении других вариантов осуществления изобретения, и каждая уплотнительная полоса второго множества может иметь, по существу, такую же конструкцию, что и второе множество уплотнительных полос, как описано выше в отношении других вариантов осуществления изобретения.

Описываемые варианты осуществления изобретения также направлены на способы сборки теплообменника. Способ может включать обеспечение центрального стержня, имеющего продольную ось, и установку множества эллиптических секторообразных перегородок на центральном стержне под некоторым углом к продольной оси центрального стержня так, чтобы множество перегородок образовывало спиральную траекторию. Каждая из множества перегородок может иметь наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положения наружного периферийного края остальных из множества перегородок; ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края; ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и множество отстоящих друг от друга отверстий. Множество идущих в осевом направлении труб может быть размещено во множестве отстоящих друг от друга отверстий каждой из множества перегородок, при этом, множество идущих в осевом направлении труб предназначено для второй текучей среды.

Кроме этого, способ может включать соединение первого множества уплотнительных полос, имеющих первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб. Соединение первого множества уплотнительных полос может включать соединение первого конца каждой из первого множества уплотнительных полос с дальней стороной одной из множества перегородок; и соединение второго конца каждой из первого множества уплотнительных полос с ближней стороной другой из множества перегородок. Каждая из первого множества уплотнительных полос может располагаться либо перпендикулярно и к дальней стороне одной из множества перегородок, и к ближней стороне другой из множества перегородок; либо под некоторым углом к перпендикуляру к ближней стороне одной из множества перегородок и дальней стороне другой

из множества перегородок, и этот угол может составлять от более 0° до 80°. Центральный стержень, множество перегородок, множество идущих в осевом направлении труб и первое множество уплотнительных полос в сборе затем могут быть размещены в кожухе, предназначенном для приема первой текучей среды.

Присоединенное первое множество уплотнительных полос имеет внутренний диаметр и наружный диаметр. Соединение первого множества уплотнительных полос может включать отклонение присоединенного первого множества уплотнительных полос от наружного диаметра к внутреннему диаметру на некоторый угол относительно перпендикуляра к кожуху в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю одной из множества перегородок.

Соединение первого множества уплотнительных полос может дополнительно включать расположение внутреннего диаметра каждой из первого множества уплотнительных полос на таком расстоянии от наружного диаметра ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб, которое равно расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб из множества идущих в осевом направлении труб. Соединение первого множества уплотнительных полос может также включать вращательное смещение каждой из первого множества уплотнительных полос, соединенных с дальней стороной каждой из множества перегородок, от каждой из множества уплотнительных полос, соединенных с ближней стороной каждой из множества перегородок.

Способ сборки в некоторых вариантах осуществления изобретения может также включать соединение второго множества уплотнительных полос, имеющих первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб. Соединение второго множества уплотнительных полос может включать соединение первого конца каждой из второго множества уплотнительных полос с дальним радиальным краем дальней стороны одной из множества перегородок; и соединение второго конца каждой из второго множества уплотнительных полос с ближним радиальным краем ближней стороны другой из множества перегородок, при этом каждая из второго множества уплотнительных полос расположена параллельно продольной оси кожуха.

Теплообменнику, соответствующему одному или нескольким вариантам осуществления настоящего изобретения, снабженному уплотнительными полосами, расположенными перпендикулярно каждой из множества перегородок так, что уплотнительные полосы перпендикулярны направлению потока первой текучей среды, свойственно множество преимуществ по сравнению с обычными теплообменниками и другими теплообменниками со спиральными перегородками. Например, уплотнительные полосы, расположенные перпендикулярно каждой из перегородок, могут способствовать снижению падения давления на всей длине теплообменника по сравнению с теплообменниками, снабженными уплотнительными полосами, расположенными параллельно продольной оси теплообменника. Кроме этого, например, уплотнительные полосы, расположенные перпендикулярно направлению потока первой текучей среды и под некоторым углом так, что поток первой текучей среды направляется обратно к множеству труб, по которым пропускают вторую текучую среду, могут способствовать уменьшению байпасирования первой текучей средой множества труб по сравнению с уплотнительными полосами, расположенными параллельно продольной оси теплообменника. Кроме этого, например, в одном или нескольких вариантах осуществления изобретения радиальное смещение множества уплотнительных полос вдоль длины теплообменника может обеспечивать локальное повышение теплопередачи к большему числу из множества труб. Кроме этого, например, второе множество уплотнительных полос, расположенных у первого и второго радиальных краев перегородок, может способствовать тому, что меньшее количество первой текучей среды отклоняется от спиральной траектории потока в форме утечки вокруг перекрывающихся перегородок. Следовательно, теплообменник, соответствующий одному или нескольким вариантам осуществления изобретения, может обеспечивать повышенную эффективность теплопередачи в сочетании с меньшей стоимостью изготовления и меньшими затратами на обслуживание по сравнению с обычными теплообменниками и другими теплообменниками со спиральными перегородками.

В отношении вариантов осуществления настоящего изобретения отмечено несколько неожиданных результатов. Во-первых, эксперименты показали, что обычные уплотнительные полосы, расположенные не так, как описано в настоящем документе, обладают слабым непосредственным влиянием на теплопередачу. Таким образом, они не могут значительно повышать эффективность теплообменников, в которых они установлены. Действительно, эксперименты показали, что обычные уплотнительные полосы могут вызывать существенное падение давления в теплообменниках по сравнению с такими же теплообменниками без уплотнительных полос. Из-за падения давления может снижаться эффективность теплопередачи в теплообменнике. Этот результат оказался неожиданным, поскольку из предшествующего уровня техники известно, что любая уплотнительная полоса повышает эффективность теплообменника, предотвращает байпасирование текучей средой трубного пучка. Однако, полученные результаты говорят о том, что уплотнительные полосы, расположенные в соответствии с описываемыми вариантами осуществления изобретения, могут повышать эффективность теплообменника.

Обратимся к фиг. 10, на которой выполнено сравнение рабочих параметров трех теплообменников: (1) теплообменник без уплотнительных полос (треугольники), (2) теплообменник с четырьмя

продольными уплотнительными полосами, идущими вдоль длины теплообменника, расположенными в соответствующих сквозных отверстиях в каждой из перегородок (квадраты), и (3) теплообменник с наклонными уплотнительными полосами, при этом уплотнительные полосы направляют поток так, чтобы поддерживать спиральный поток текучей среды через теплообменник (круги). Представленные экспериментальные данные включают число Рейнольдса на нижней оси, коэффициент преобразования падения давления на левой оси и число Пекле на правой оси. Как показано на фигуре, для данного числа Рейнольдса потока текучей среды коэффициент преобразования падения давления и число Пекле выше для случая уплотнительных полос, расположенных в соответствии с описываемыми вариантами осуществления изобретения, что указывает на большую эффективность преобразования падения давления в теплопередачу.

Во-вторых, эксперименты показали, что уплотнительные полосы, присоединенные так, что они противостоят потоку текучей среды, т.е. присоединены обратно тому, что указано в настоящем документе, могут значительно снижать теплопередачу. В некоторых экспериментах такие уплотнительные полосы снижали теплопередачу на 60% относительно теплообменников без уплотнительных полос. Это оказалось неожиданным, поскольку ожидалось, что уплотнение любого типа предотвращает байпасирование и, тем самым, повышает теплопередачу. Однако эти результаты показывают, что для повышения теплопередачи в теплообменнике нужно предотвращать не только байпасирование, но и значительное падение давления. Следовательно, определенное расположение и ориентация уплотнительных полос, описанные в настоящем документе, важны для обеспечения повышенной теплопередачи.

В-третьих, эксперименты показали, что уплотнительные полосы, присоединенные, как описано в настоящем документе, могут способствовать повышению теплопередачи, не вызывая значительного падения давления. Уплотнительные полосы присоединены так, что поддерживают спиральный поток текучей среды в теплообменнике. Это оказалось неожиданным, так как из предшествующего уровня техники известно, что отрицательной стороной любого уплотнения является увеличение падения давления, приблизительно, на 30-50%. Следовательно, результаты настоящего изобретения являются положительными в намного большей степени, чем можно было бы ожидать на основании предшествующего уровня техники, так как обеспечивают повышенную теплопередачу без соответствующего увеличения падения давления.

Хотя изобретение описано в отношении ограниченного числа вариантов осуществления, для специалистов в данной области, пользующихся настоящим описанием, очевидно, что возможны другие варианты осуществления изобретения, не выходящие за рамки изобретения, описанного в настоящем документе. Следовательно, объем изобретения ограничивается только прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Теплообменник, содержащий:

кожух, имеющий продольную ось и выполненный с возможностью приема первой текучей среды; множество перегородок, каждая из которых установлена в кожухе под углом H_B спирали с целью направления потока первой текучей среды через кожух по спиральной траектории, при этом каждая из множества перегородок содержит:

наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положений наружных периферийных краев остальных из множества перегородок;

ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края;

ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и

множество отстоящих друг от друга отверстий, предназначенных для прохождения через них множества идущих в осевом направлении труб, предназначенных для второй текучей среды; и

первое множество уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, расположенных радиально между кожухом и множеством труб, идущих в осевом направлении, и каждая из которых расположена, соответственно, между любыми двумя соседними перегородками;

при этом каждая из первого множества уплотнительных полос расположена так, чтобы иметь первый конец каждой уплотнительной полосы вблизи дальней стороны соответствующей перегородки и второй конец каждой уплотнительной полосы вблизи ближней стороны соответствующей перегородки под углом H_S спирали, который больше 5° и меньше угла H_B спирали перегородки,

где углы H_B и H_S спирали определяются как угол соответствующей перегородки или уплотнительной полосы относительно продольной оси кожуха, и

причем каждая из первого множества уплотнительных полос имеет угол от более 0° до 80° , образованный между каждой из первого множества уплотнительных полос и линией, перпендикулярной ближней стороне соответствующей перегородки и дальней стороне соответствующей перегородки.

2. Теплообменник по п.1, в котором уплотнительные полосы выполнены с возможностью, в частности, направления потока текучей среды по спирали к выпускному отверстию и, в частности, для направ-

ления потока текучей среды от кожуха к множеству идущих в осевом направлении труб.

3. Теплообменник по п.1, в котором:

первое множество уплотнительных полос расположено от дальней стороны первой перегородки, рядом с ближним радиальным краем первой перегородки, к ближней стороне второй перегородки, рядом с дальним радиальным краем второй перегородки, при этом первая и вторая перегородки расположены в одном и том же секторе или квадранте; или

первое множество уплотнительных полос расположено от дальней стороны первой перегородки, посреди ближнего радиального края и дальнего радиального края первой перегородки, к ближней стороне второй перегородки, посреди ближнего радиального края и дальнего радиального края второй перегородки, при этом вторая перегородка расположена в ином секторе или квадранте, нежели первая перегородка.

4. Теплообменник по п.1, в котором первый конец каждой из первого множества уплотнительных полос соединен с дальней стороной первой из множества перегородок, при этом второй конец каждой из первого множества уплотнительных полос соединен с ближней стороной второй из множества перегородок.

5. Теплообменник по п.1, в котором множество перегородок представляет собой перегородки в форме эллиптического сектора.

6. Теплообменник по п.1, в котором уплотнительные полосы первого множества имеют внутреннюю поверхность и наружную поверхность, при этом уплотнительные полосы первого множества отклонены от наружной поверхности к внутренней поверхности под углом от перпендикуляра к кожуху в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю одной из множества перегородок.

7. Теплообменник по п.6, в котором каждая из первого множества уплотнительных полос отклонена на угол от 15° до 45° от перпендикуляра к кожуху.

8. Теплообменник по п.1, в котором наружная поверхность каждой из первого множества уплотнительных полос расположена вблизи внутренней поверхности кожуха.

9. Теплообменник по п.1, в котором внутренняя поверхность каждой из первого множества уплотнительных полос отстоит от наружной поверхности ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб на расстояние, равное расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб из множества идущих в осевом направлении труб.

10. Теплообменник по п.1, в котором каждая из множества перегородок снабжена по меньшей мере одной уплотнительной полосой из первого множества уплотнительных полос, соединенной с ближней стороной, и по меньшей мере одной уплотнительной полосой из первого множества уплотнительных полос, соединенной с дальней стороной.

11. Теплообменник по п.1, в котором каждая уплотнительная полоса из первого множества уплотнительных полос, соединенная с дальней стороной каждой из множества перегородок, смещена вращательно вокруг продольной оси от каждой из множества уплотнительных полос, соединенных с ближней стороной каждой из множества перегородок.

12. Теплообменник по п.1, в котором каждая из первого множества уплотнительных полос имеет изогнутый наружный диаметр с изогнутостью, которая является эллиптической, и причем каждая из первого множества уплотнительных полос имеет внутренний диаметр с изогнутостью, которая является эллиптической.

13. Теплообменник по п.1, в котором каждая из первого множества уплотнительных полос имеет ширину, наружный диаметр минус внутренний диаметр, которая изменяется по длине, от первого конца ко второму концу уплотнительной полосы, и причем каждая из первого множества уплотнительных полос имеет глубину, от ближней стороны до дальней стороны, которая изменяется по ширине или длине уплотнительной полосы.

14. Теплообменник по п.1, в котором равное число уплотнительных полос соединено с каждой перегородкой из множества перегородок.

15. Теплообменник по п.1, в котором число уплотнительных полос на оборот вокруг продольной оси кожуха представляет собой число перегородок на оборот вокруг продольной оси кожуха.

16. Теплообменник по п.1, в котором первое множество уплотнительных полос выполнено из стали.

17. Теплообменник по п.1, дополнительно включающий:

второе множество уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, расположенных радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и каждая из которых находится, соответственно, между любыми двумя перегородками,

при этом каждая из второго множества уплотнительных перегородок расположена от ближней из множества перегородок к дальней из множества перегородок под углом H_S спирали, который больше 5° , отличен от угла H_S спирали и меньше угла H_B спирали перегородки,

при этом углы H_B , H_S и H_{2S} спирали определяются как угол между соответствующей перегородкой или уплотнительной полосой и продольной осью кожуха.

18. Теплообменник по п.1, дополнительно содержащий:

второе множество уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, расположенных радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и каждая из которых находится, соответственно, между любыми двумя соседними перегородками,

при этом каждая из второго множества уплотнительных перегородок расположена от ближнего радиального края перегородки к дальнему радиальному краю соседних перегородок.

19. Теплообменник по п.18, в котором внутренняя поверхность каждой из второго множества уплотнительных полос отстоит от наружной поверхности ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб на расстояние, равное расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб из множества идущих в осевом направлении труб.

20. Способ сборки теплообменника, при этом способ включает стадии, на которых: обеспечивают центральный стержень, имеющий продольную ось; устанавливают множество эллиптических секторообразных перегородок на центральном стержне под углом к продольной оси центрального стержня так, чтобы множество перегородок образовывало спиральную траекторию, при этом каждая из множества перегородок содержит:

наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положений наружных периферийных краев остальных из множества перегородок;

ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края;

ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и

множество отстоящих друг от друга отверстий;

размещают множество идущих в осевом направлении труб во множестве отстоящих друг от друга отверстий каждой из множества перегородок, причем множество идущих в осевом направлении труб предназначено для второй текучей среды;

соединяют первое множество уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, при этом соединение первого множества уплотнительных полос включает:

соединение первого конца каждой из первого множества уплотнительных полос с ближней стороной одной из множества перегородок;

соединение второго конца каждой из первого множества уплотнительных полос с дальней стороной перегородки соседней к упомянутой одной из множества перегородок, при этом каждая из первого множества уплотнительных полос расположена под углом H_S спирали, который больше 5° и меньше угла H_B спирали перегородки,

при этом углы H_B и H_S спирали определяются как угол соответствующей перегородки или уплотнительной полосы относительно продольной оси кожуха; и

расположение под углом каждой из первого множества уплотнительных полос для образования угла от более 0° до 80° между каждой из первого множества уплотнительных полос и линией, перпендикулярной ближней стороне соответствующей перегородки и дальней стороне соответствующей перегородки; и

размещают собранные вместе центральный стержень, множество перегородок, множество идущих в осевом направлении труб и первое множество уплотнительных полос в кожухе, выполненном с возможностью приема первой текучей среды.

21. Способ сборки по п.20, в котором присоединённое первое множество уплотнительных полос имеет внутреннюю поверхность и наружную поверхность, при этом соединение первого множества уплотнительных полос дополнительно включает:

отклонение присоединенного первого множества уплотнительных полос от наружной поверхности к внутренней поверхности на некоторый угол относительно перпендикуляра к кожуху в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю одной из множества перегородок.

22. Способ сборки по п.20, в котором соединение первого множества уплотнительных полос дополнительно включает:

расположение внутренней поверхности каждой из первого множества уплотнительных полос на таком расстоянии от наружной поверхности ближайшей трубы из множества идущих в осевом направлении труб, которое равно расстоянию между наружными диаметрами двух соседних труб из множества идущих в осевом направлении труб.

23. Способ сборки по п.20, в котором соединение первого множества уплотнительных полос дополнительно включает:

вращательное смещение каждой из первого множества уплотнительных полос, соединенных с дальней стороной каждой из множества перегородок, от каждой из множества уплотнительных полос, соединенных с ближней стороной каждой из множества перегородок.

24. Способ сборки по п.20, дополнительно содержащий:

соединение второго множества уплотнительных полос, имеющих первый конец и второй конец, радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, при этом соединение второго множества уплотнительных полос включает:

соединение первого конца каждой из второго множества уплотнительных полос с ближним радиальным краем дальней стороны одной из множества перегородок; и

соединение второго конца каждой из второго множества уплотнительных полос с дальним радиальным краем ближней стороны другой из множества перегородок,

при этом каждая из второго множества уплотнительных полос расположена параллельно продольной оси кожуха.

25. Теплообменник, содержащий:

кожух, имеющий продольную ось и выполненный с возможностью приема первой текучей среды;

множество перегородок, установленных в кожухе под углом к продольной оси, отстоящих друг от друга вдоль продольной оси и выполненных с возможностью направления потока первой текучей среды через кожух по спиральной траектории, при этом каждая из перегородок содержит:

наружный периферийный край;

ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края;

ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и

множество отстоящих друг от друга отверстий, выполненных в каждой перегородке от ближней стороны до дальней стороны, при этом отверстия выполнены с возможностью прохождения через них множества идущих в осевом направлении труб, при этом трубы предназначены для второй текучей среды; и

множество уплотнительных элементов, каждый из которых имеет первый конец и второй конец, уплотнительные элементы размещены радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и первый конец каждого уплотнительного элемента соединен с дальней стороной соответствующей перегородки, а второй конец каждого уплотнительного элемента соединен с ближней стороной соответствующей перегородки,

причем каждый уплотнительный элемент расположен под углом от перпендикуляра к ближней стороне соответствующей перегородки, и этот угол составляет от более 0° до 80° в направлении, определяемом от ближнего радиального края к дальнему радиальному краю соответствующей перегородки.

26. Теплообменник по п.25, в котором уплотнительные элементы содержат уплотнительные полосы или уплотнительные стержни.

27. Теплообменник, содержащий:

кожух, имеющий продольную ось и выполненный с возможностью приема первой текучей среды;

множество перегородок, каждая из которых установлена в кожухе под углом N_B спирали с целью направления потока первой текучей среды через кожух по спиральной траектории, при этом каждая из множества перегородок содержит:

наружный периферийный край, отстоящий в продольном направлении от положений наружного периферийного края остальных из множества перегородок;

ближний радиальный край, отстоящий от дальнего радиального края;

ближнюю сторону, противоположную дальней стороне; и

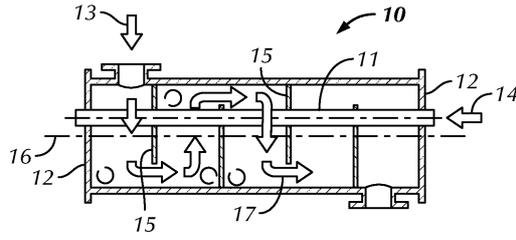
множество отстоящих друг от друга отверстий, выполненных с возможностью прохождения через них множества идущих в осевом направлении труб, предназначенных для второй текучей среды; и

первое множество смещенных по окружности уплотнительных полос, каждая из которых имеет первый конец и второй конец, расположенных радиально между кожухом и множеством идущих в осевом направлении труб, и каждая из которых размещена, соответственно, между любыми двумя соседними перегородками,

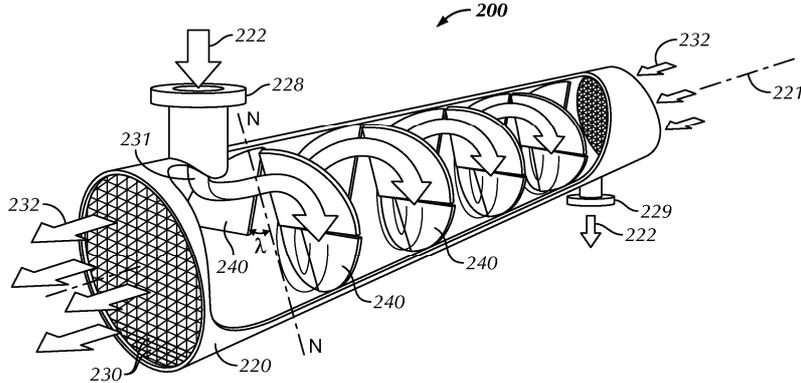
причем каждая из первого множества смещенных по окружности уплотнительных полос имеет угол от более 0° до 80° , образованный между каждой из первого множества смещенных по окружности уплотнительных полос и линией, перпендикулярной двум соседним перегородкам.

28. Теплообменник по п.27, в котором каждая из множества перегородок соединена по меньшей мере с двумя полосами из первого множества уплотнительных полос, включая дальнюю уплотнительную полосу, соединенную с дальней стороной перегородки, и ближнюю уплотнительную полосу, соединенную с ближней стороной той же перегородки, при этом ближняя уплотнительная полоса смещена по окружности от дальней уплотнительной полосы.

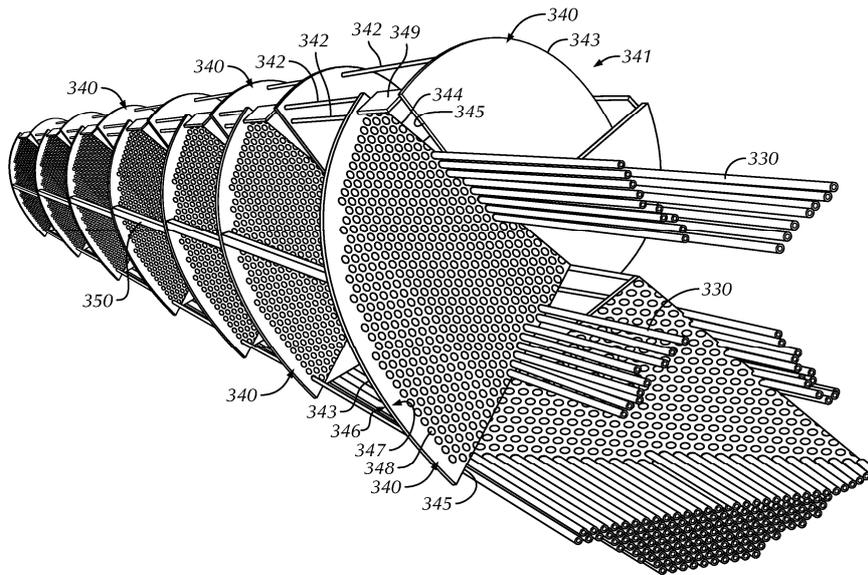
29. Теплообменник по п.27, в котором каждая из первого множества уплотнительных полос параллельна продольной оси теплообменника.



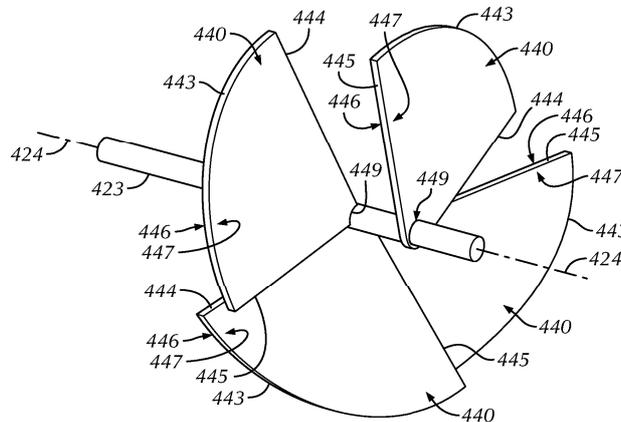
Фиг. 1 (Известный уровень техники)



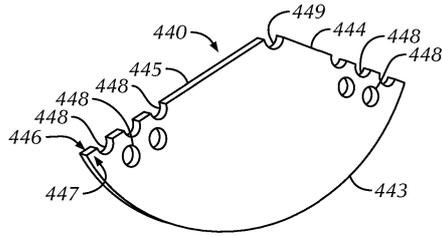
Фиг. 2



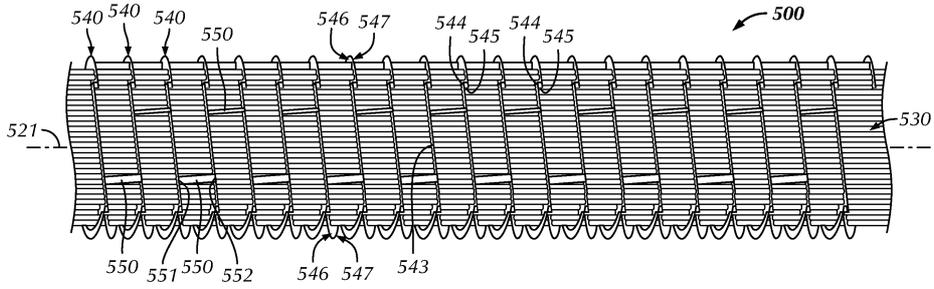
Фиг. 3



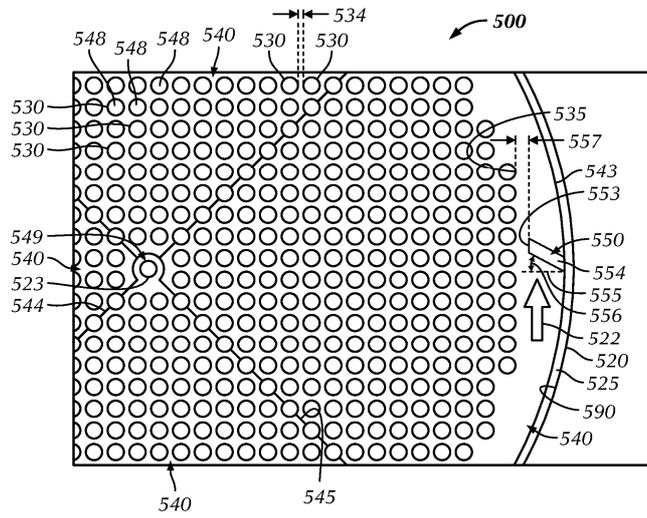
Фиг. 4А



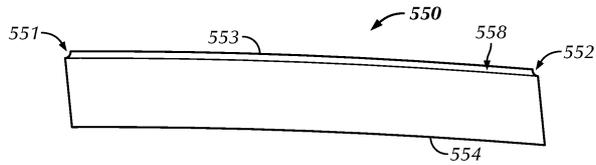
Фиг. 4В



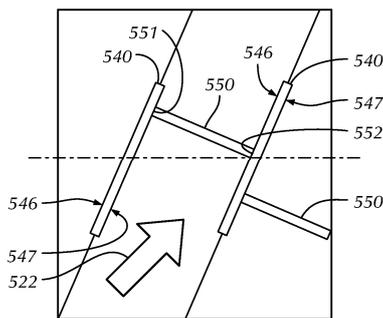
Фиг. 5А



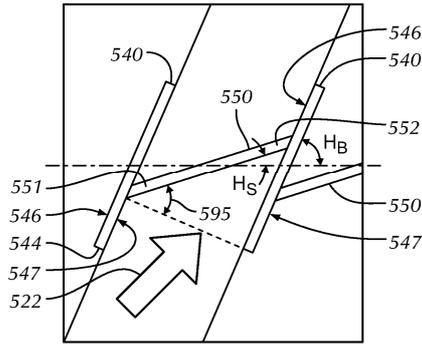
Фиг. 5В



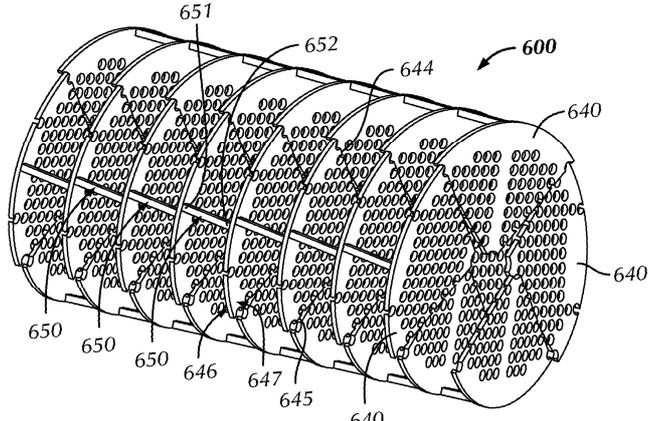
Фиг. 5С



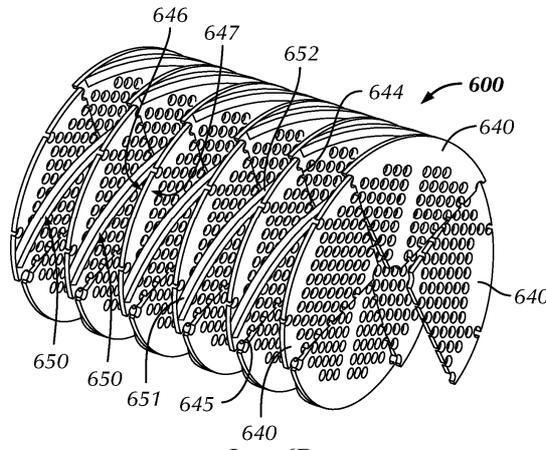
Фиг. 5D



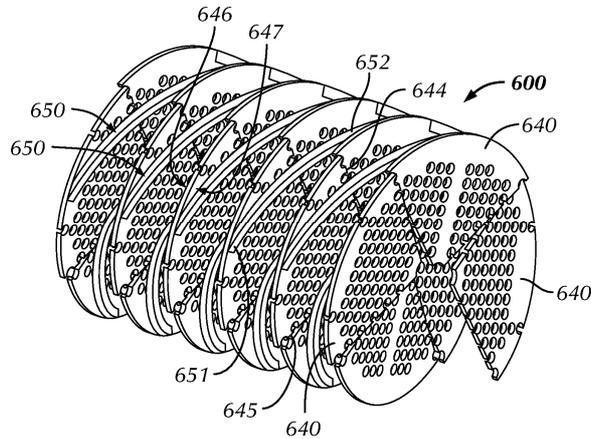
Фиг. 5E



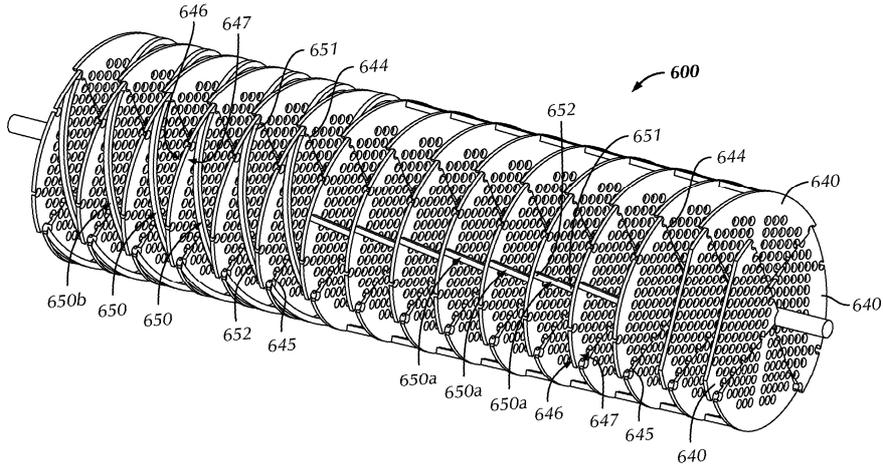
Фиг. 6A



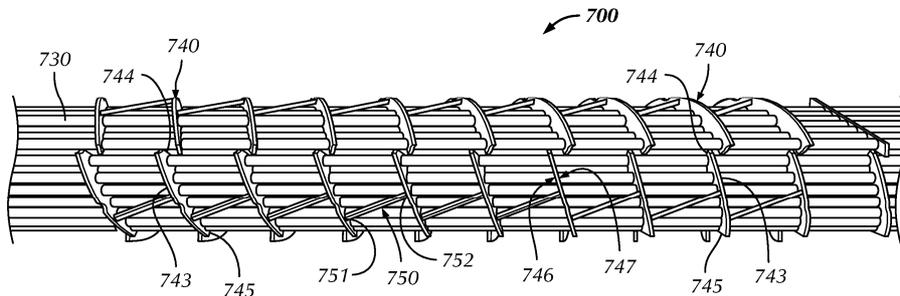
Фиг. 6B



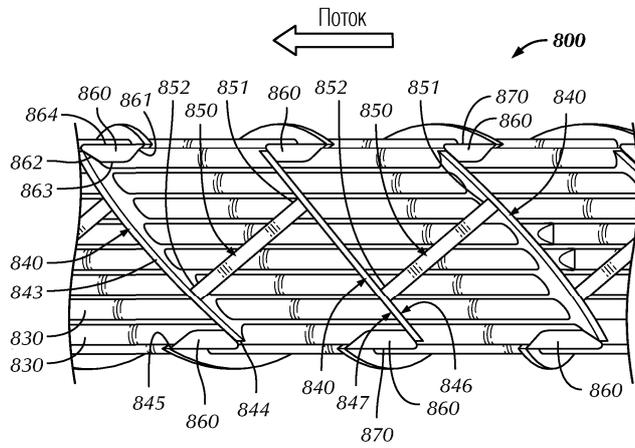
Фиг. 6C



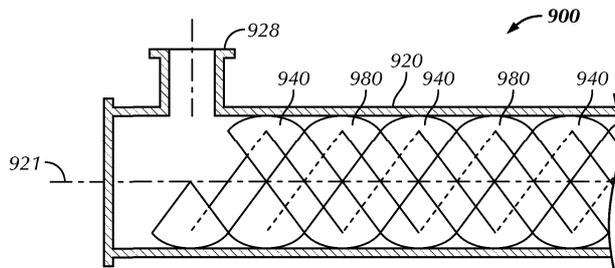
Фиг. 6D



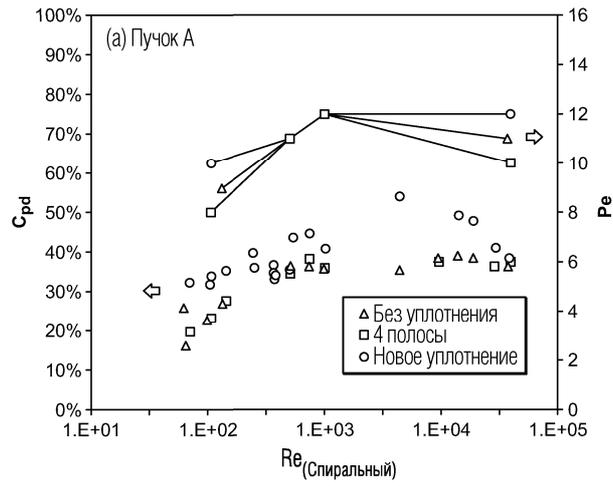
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

