

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038419**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.08.26

(21) Номер заявки
201990323

(22) Дата подачи заявки
2017.07.19

(51) Int. Cl. **F28D 7/16** (2006.01)
F28F 9/22 (2006.01)
F28F 9/02 (2006.01)
F28F 13/06 (2006.01)

(54) **ТЕПЛООБМЕННИК "ВХОДЯЩИЙ/ВЫХОДЯЩИЙ ПОТОК"**

(31) **62/364,112**

(32) **2016.07.19**

(33) **US**

(43) **2019.06.28**

(86) **PCT/US2017/042945**

(87) **WO 2018/017773 2018.01.25**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛАММУС ТЕКНОЛОДЖИ ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Бриньоне Марко, Джибб Ричард (US)

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

(56) **US-A-20150129182**
US-A-3630274
US-A1-20060289153
US-A1-20090301699
US-B1-6513583

(57) Предложен кожухотрубный теплообменник, который включает в себя, в числе прочего, удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось теплообменника и ограничивает внутреннюю камеру. Кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, для обеспечения попадания подаваемого газа во внутреннюю камеру и выхода его из нее. С концом удлиненного кожуха связана по меньшей мере одна трубная решетка, а внутри внутренней камеры кожуха находится множество продольно разнесенных круглых перегородок для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры. Теплообменник также включает в себя трубный пучок, который имеет множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область. Кроме того, имеется кожуховый распределитель, компоновка и конфигурация которого обеспечивают направление потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки. Кожуховый распределитель имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез для распределения потока подаваемого газа.

038419
B1

038419
B1

В этой заявке испрашивается приоритет согласно заявке № 62/364112 на предварительный патент США, поданной 19 июля 2016 г. под названием "Feed Effluent Heat Exchanger" ("Теплообменник "входящий/выходящий поток"), которая во всей ее полноте включена сюда посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

Данное изобретение направлено на создание теплообменников, а конкретнее - кожухотрубных теплообменников с повышенным КПД теплообмена.

Уровень техники

Многие процессы производства химических продуктов из нефтяного сырья требуют нагрева поступающего газа до высокой температуры перед проведением реакции. Несколькими примерами являются дегидрогенизация этилбензола для образования стиролового мономера и дегидрогенизация пропана или бутана для образования бутенов или бутадиена. Для генерирования требуемых температур подаваемого газа необходимо сжечь значительное количество топлива в огневом подогревателе. Избыточное тепло в продуктах реакции можно рекуперировать как водяной пар. Вместе с тем, во многих случаях это преобразование энергии из топлива в водяной пар не является наиболее экономичным вариантом выбора, и в теплообменнике "входящий/выходящий поток" желательнее рекуперировать как можно больше тепла, чтобы минимизировать количество топлива, потребляемого процессом.

Обычные способы и системы, предусматривающие применение теплообменников, в общем случае считались удовлетворяющими своему назначению. Вместе с тем, в данной области техники по-прежнему существует потребность в системах и способах, которые обеспечивают усовершенствованные кожухотрубные теплообменники с повышенной термической эффективностью.

Сущность изобретения

Данное изобретение направлено на создание конструкций теплообменников с повышенным КПД теплообмена. Первый вариант осуществления данного изобретения представляет собой кожухотрубный теплообменник, который включает в себя, в числе прочего, удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось теплообменника и ограничивает внутреннюю камеру. Кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, для обеспечения попадания подаваемого газа во внутреннюю камеру и выхода его из нее. В некоторых конструкциях кожух включает в себя два или более входов для подаваемого газа и два или более выходов для подаваемого газа.

С одним концом удлиненного кожуха связана по меньшей мере одна трубная решетка, а внутри внутренней камеры кожуха находится множество продольно разнесенных круглых перегородок для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры. В некоторых конструкциях, с каждой из множества перегородок связано кольцевое уплотнение.

Предусмотрен трубный пучок, который включает в себя множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область. Теплообменник дополнительно включает в себя первый кожуховый распределитель, компоновка и конфигурация которого обеспечивают направление потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки. Первый кожуховый распределитель имеет, по меньшей мере один угловой срез, сформированный на ее конце, для распределения потока подаваемого газа.

В некоторых вариантах осуществления данного изобретения во внешней стенке кожуха сформированы два входа для подаваемого газа и сформированы два выхода для подаваемого газа. В такой конструкции первый кожуховый распределитель предпочтительно имеет два угловых среза, сформированных на его конце, для распределения потока подаваемого газа. В некоторых конструкциях угловые срезы расположены так, что разнесены на 180°.

Предусматривается, что упомянутый по меньшей мере один кожуховый распределитель может включать в себя по меньшей мере одну круглую перегородку. В предпочтительном варианте осуществления кожуховый распределитель включает в себя тороидальную перегородку, имеющую центральную область окна. В некоторых конструкциях этот кожуховый распределитель дополнительно включает в себя перегородку экранного типа, имеющую кольцевой уплотнительный элемент.

Предусматривается, что упомянутый по меньшей мере один угловой срез, сформированный на конце упомянутого по меньшей мере одного кожухового распределителя, выполнен под углом 10-30°.

В предпочтительной конструкции, где теплообменник дополнительно включает в себя второй кожуховый распределитель, который имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез, а также компоновку и конфигурацию, обеспечивающие направление потока подаваемого газа из внутренней камеры к выходу для подаваемого газа.

Предусматривается, что в вариантах осуществления данного изобретения множество перегородок включает в себя как перегородки экранного типа, так и крыловидные перегородки, скомпонованные в чередующемся порядке.

Каждое из кольцевых уплотнений, связанных с каждой из множества круглых перегородок, предпочтительно включает в себя гибкий элемент, который простирается между перегородкой и кожухом.

Предполагается, что гибкий элемент может быть предусмотрен на одной стороне перегородки или на обеих сторонах перегородки.

В некоторых вариантах осуществления множество круглых перегородок включает в себя по меньшей мере одну перегородку экранного типа, сформированную путем вырезания двух диаметрально противоположных окон с получением отражательной пластины. Кроме того, множество круглых перегородок может включать в себя по меньшей мере одну крыловидную перегородку, сформированную путем вырезания одного окна с получением отражательной пластины. Помимо этого, множество круглых перегородок может включать в себя тороидальную перегородку, сформированную путем вырезания круглого окна с получением отражательной пластины.

Данное изобретение также направлено на создание кожухотрубного теплообменника, который включает в себя, среди прочих элементов, удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось для теплообменника и ограничивает внутреннюю камеру. Кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, чтобы обеспечить попадание подаваемого газа во внутреннюю камеру и выход его из нее. С концом удлиненного кожуха связана по меньшей мере одна трубная решетка, а внутри внутренней камеры кожуха находится множество продольно разнесенных круглых перегородок для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры, причем множество перегородок включает в себя перегородки экранного типа и крыловидные перегородки, а каждая перегородка включает в себя кольцевое уплотнение. Теплообменник дополнительно включает в себя трубный пучок, который включает в себя множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область. Помимо этого, компоновка и конфигурация первого кожухового распределителя обеспечивают направление потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки, причем первый кожуховый распределитель имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез для распределения потока подаваемого газа.

В настоящее время предполагается, что первый кожуховый распределитель имеет два угловых среза, сформированных на его конце, которые расположены так, что разнесены на 180° , для распределения потока подаваемого газа. В некоторых конструкциях упомянутый по меньшей мере один кожуховый распределитель включает в себя по меньшей мере одну круглую перегородку. Кроме того, кожуховый распределитель может включать в себя тороидальную перегородку, имеющую центральную область окна. Помимо этого, кожуховый распределитель может дополнительно включать в себя перегородку экранного типа, имеющую кольцевой уплотнительный элемент.

Предусматривается, что упомянутый по меньшей мере один угловой срез, сформированный на конце упомянутого по меньшей мере одного кожухового распределителя, может быть выполнен под углом $10-30^\circ$.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления теплообменник дополнительно включает в себя второй кожуховый распределитель, который имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез и компоновку и конфигурацию, обеспечивающие направление потока подаваемого газа из внутренней камеры к выходу для подаваемого газа.

Множество перегородок экранного типа и крыловидных перегородок предпочтительно скомпонованы в чередующемся порядке.

Предусматривается, что кольцевое уплотнение, связанное с каждой из множества перегородок, включает в себя гибкий элемент, который простирается между перегородкой и кожухом. В некоторых конструкциях гибкий элемент предусмотрен на обеих сторонах перегородки.

Перегородки экранного типа могут быть сформированы путем вырезания двух диаметрально противоположных окон с получением отражательной пластины. Крыловидные перегородки могут быть сформированы путем вырезания одного окна с получением отражательной пластины. Кроме того, тороидальные перегородки сформированы путем вырезания круглого окна с получением отражательной пластины.

Изобретение также направлено на создание кожухотрубного теплообменника, который включает в себя, в числе прочего, удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось для теплообменника и ограничивает внутреннюю камеру. Кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, чтобы обеспечить попадание подаваемого газа во внутреннюю камеру и выход его из нее. С концом удлиненного кожуха связана по меньшей мере одна трубная решетка. Внутри внутренней камеры кожуха находится множество продольно разнесенных круглых перегородок для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры, причем множество перегородок включает в себя гибкое кольцевое уплотнение, простирающееся между перегородкой и кожухом. Теплообменник дополнительно включает в себя трубный пучок, который включает в себя множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область. Кроме того, теплообменник включает в себя первый кожуховый распределитель, компоновка и конфигурация которого обеспечива-

ют направление потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки, причем первый кожуховый распределитель, имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез для распределения потока подаваемого газа.

Гибкий элемент предпочтительно предусмотрен на обеих сторонах перегородки. Предусматривается, что гибкий элемент может быть изготовлен из нержавеющей стали, такой как нержавеющая сталь марки 304.

Краткое описание чертежей

Таким образом, специалисты в данной области техники, в чью компетенцию входит предлагаемое изобретение, легко поймут, как без необязательных экспериментов разработать, изготовить и применить устройства и способы согласно предлагаемому изобретению, предпочтительные варианты осуществления которых будут подробно описаны здесь ниже со ссылками определенные чертежи.

На фиг. 1А показана вертикальная проекция возможного распределителя кожухового типа с угловым срезом и тороидальной перегородкой, выполненного в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения.

На фиг. 1В показано сечение распределителя кожухового типа согласно фиг. 1А.

На фиг. 2А показано схематическое изображение возможной перегородки экранного типа, выполненной в соответствии с данным изобретением, причем из круглой перегородки вырезаны два окна.

На фиг. 2В показано схематическое изображение возможной крыловидной перегородки, выполненной в соответствии с данным изобретением, причем из круглой перегородки вырезано одно окно.

На фиг. 2С показано схематическое изображение еще одной возможной круглой перегородки, выполненной в соответствии с данным изобретением, причем из круглой перегородки удален круговой участок, что приводит к созданию тороидальной перегородки.

На фиг. 3 показано схематическое изображение возможной планировки теплообменника, который выполнен в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения.

На фиг. 4 представлено сечение четверти секции возможного теплообменника, который выполнен соответственно дополнительному варианту осуществления данного изобретения.

На фиг. 5 показан поперечный разрез кольцевого (для выходящего потока (E-Stream)) или гибкого уплотнительного приспособления для применения с перегородками теплообменника.

На фиг. 6А представлено схематическое изображение возможного профиля распределения температуры на входе кожуха существующего теплообменника.

На фиг. 6В представлено схематическое изображение возможного профиля распределения температуры на входе кожуха теплообменника, который выполнен в соответствии с данным изобретением, выполненное в масштабе, уменьшенном по отношению к фиг. 6А.

На фиг. 7А представлено схематическое изображение возможного профиля распределения температуры на выходе кожуха существующего теплообменника.

На фиг. 7В (частный масштаб) и 7С (диск в том же масштабе) представлены схематические виды возможного профиля распределения температуры на выходе кожуха теплообменника, который выполнен в соответствии с данным изобретением.

Следует понять, что прилагаемые чертежи не обязательно выполнены в масштабе, давая некоторое упрощенное представление различных предпочтительных признаков, иллюстрирующих основные принципы изобретения. Конкретные конструктивные признаки данного изобретения, раскрываемые здесь, включая, например, конкретные размеры, ориентации, местонахождения и формы, будут определяться, в частности, конкретным целевым применением и условиями эксплуатации.

Эти и другие аспекты предлагаемого изобретения станут понятнее обычным специалистам в данной области техники из нижеследующего подробного описания изобретения, приводимого в связи с чертежами.

Подробное описание

Обратимся теперь к чертежам, на которых сходные позиции обозначают аналогичные конструктивные признаки или аспекты предлагаемого изобретения. Понятно, что раскрытые варианты осуществления являются лишь примерами того, как можно воплотить определенные аспекты изобретения, а не представляют исчерпывающий список всех возможностей осуществления изобретения. В самом деле, понятно, что описываемые здесь системы, устройства и способы можно воплотить в различных и альтернативных формах. Более того, чертежи не обязательно выполнены в масштабе, а некоторые признаки могут быть чрезмерно преувеличены или минимизированы, чтобы показать подробности конкретных компонентов.

Хорошо известные компоненты, материалы или способы не обязательно описываются в подробностях во избежание сокрытия смысла данного изобретения. Любые специфические конструктивные и функциональные подробности, раскрываемые здесь, следует интерпретировать не как ограничительные, а просто как основу для формулы изобретения и как представительный базис для изучения специалистом в данной области техники с целью применения изобретения разными путями.

Если не указано или не сказано иное, то ссылки на направления, такие как "вправо", "влево",

"вверх", "наружу", "внутри" и т.д., следует относить к ориентации согласно конкретному варианту осуществления изобретения, как показано на первом снабженном позициями виде согласно тому варианту осуществления.

В типичных случаях, теплообменник должен обладать очень высокой эффективностью. Требуемую эффективность обычно выражают через "коэффициент полезного действия" (кпд) теплообмена, определяемый как тепло, передаваемое от охлаждающей текучей среды подогревающей текучей среде, выражаемое как процентная доля максимальной возможной рекуперации тепла. В некоторых случаях имеются дополнительные ограничения или требования. Например, процесс Catofin™ для дегидрогенизации пропана или комбинаций пропана и бутана требует проведения реакции под пониженным давлением, так что потерю давления газа нужно сохранять как можно более низкой, чтобы поддерживать высокую селективность.

Для этих приложений желательны теплообменники кожухотрубного типа, потому что их можно выполнить обеспечивающими тепловое расширение компонентов благодаря подразумеваемым большим диапазонам температуры. Возможная кожухотрубная конструкция включает в себя жестко закрепленную трубную решетку на одном конце и трубную решетку с плавающей крышкой - на другом конце. К сожалению, кожухотрубные теплообменники могут страдать от неудовлетворительного распределения текучей среды в межтрубном пространстве теплообменника из-за утечки текучей среды вокруг труб и перегородок. Это неправильное распределение приводит к двум нежелательным эффектам. Во-первых, тепловая экономичность ограничена из-за того, что холодная текучая среда смешивается с текучей средой, которая нагрета, а во-вторых, температура трубной решетки может не быть постоянной, что может привести к короблению или выпучиванию и последующему повреждению труб. Равномерное распределение особенно важно в областях входа и выхода, где трубную решетку надо поддерживать при относительно постоянной температуре, чтобы предотвратить коробление или выпучивание. Аналогичным образом, отдельные трубы или группы труб надо поддерживать при относительно постоянной температуре в разных секциях теплообменника, чтобы гарантировать, что не будет причинено повреждение из-за разного теплового расширения.

По конструкции, теплообменник "входящий/выходящий поток", описываемый здесь в вариантах осуществления, может быть газо-газовым теплообменником кожухотрубного типа, в котором низкотемпературный подаваемый поток при 20-100°C подается в межтрубное пространство теплообменника, а высокотемпературный (например, 400-600°C) выходящий продукт подается во внутритрубное пространство. В более общем смысле, это применимо к теплообменнику, где одна из текучих сред или обе они изменяют температуру более чем на 200°C, а предпочтительно - более чем на 300°C за одно изменение.

В примере теплообменника "входящий/выходящий поток", используемого в процессе Catofin™, горячий выходящий газ переводится во внутритрубное пространство, так что перепад давления может быть очень низким. Однако низкий перепад давления также приводит к необходимости равномерного распределения текучей среды во внутритрубном пространстве по большому количеству труб, что делает задачу проектирования теплообменника особенно сложной.

Варианты осуществления данного изобретения применительно к конструкции теплообменника "входящий/выходящий поток" согласно процессу Catofin, представляют собой высокоэффективные газо-газовые трубчатые теплообменники "входящий/выходящий поток", которые используются для нагрева загрузки (обычно - пропана или бутана или их комбинации) реактора относительно выходящего из него продукта реакции в процессе дегидрогенизации, за счет чего теплообменник обладает очень высоким кпд (90% или более) и очень низким перепадом давления выходящего продукта, например - 6 килопаскалей (кПа) или менее.

Существующая технология перегородок, используемая в приложениях, связанных с теплообменниками "входящий/выходящий поток" (ТСВП (Feed Effluent Heat Exchangers (FEHE)), предусматривает наличие обычных сегментных перегородок, которые могут быть односегментными, двухсегментными или соответствующими конструкции "беструбного окна" (БО ("No Tube In Window" (NTIW))). Другая традиционная технология перегородок предусматривает дискообразные и торообразные перегородки, которые насажены на трубный пучок.

Обычные способы распределения потока на входе теплообменника, используемые в кожухотрубных теплообменниках, предусматривают управление потоком с помощью отбойных средств, таких как стержни или пластины. Вместе с тем, хотя такая конструкция может предотвратить повреждение трубы из-за вибрации, она не обеспечивает ни интенсифицированное использование областей входа и выхода в случаях с большим внутренним диаметром кожуха, ни пригодность для высокоэффективного теплообменника, в котором распределение текучей среды критично для рабочих характеристик. Более того, когда высокая рабочая температура требует постоянной температуры на стыке трубной решетки и кожуха во избежание тепловой деформации и местных механических напряжений, обычные отбойные средства типа стержней или пластин неудовлетворительны, поскольку демонстрируют тенденцию способствовать высоким локальным градиентам температуры между площадью пучка вблизи штуцеров и областями под 90° от штуцеров.

Существующие конструкции кольцевых распределителей включают в себя кольцевую секцию, которая находится снаружи кожуха и не гарантирует равномерное распределение по всей окружности. В дополнение к этому, при такой компоновке механическая конструкция усложняется, особенно для теплообменников с большим внутренним диаметром кожуха и высоким давлением.

Как будет подробно рассмотрено ниже, определенные варианты осуществления теплообменника, раскрываемые здесь, преимущественно предусматривают использование круглых перегородок с участками окон, вырезанных из каждой перегородки, так что осевой поток между внутренностью кожуха и трубным пучком предотвращается в каждой перегородке. Более того, в некоторых вариантах осуществления, раскрываемых здесь, в кольцевом зазоре между перегородкой и кожухом установлены кольцевые уплотнительные узлы, которые уменьшают возникновение механических разрывов непрерывности и которые могут создавать локальные области концентрированного механического напряжения.

Приводимые здесь варианты осуществления обеспечивают конструкции теплообменников, в которых весь поток текучей среды межтрубного пространства кожуха равномерно распределяется по трубной решетке, так что изменение температуры трубной решетки минимизируется. В дополнение к этому, планировка перегородок, используемая в приводимых здесь вариантах осуществления, предотвращает обход трубного пучка текучей средой за счет утечки между трубным пучком и кожухом в областях окон и между перегородкой и кожухом - благодаря заимствованию кольцевого уплотнения, устанавливаемого у каждой перегородки. Достигается высокий КПД (например, >90%), который поддерживается за счет предотвращения обхода трубного пучка текучей средой, но неожиданно обнаружилось, что эта комбинация обеспечивает конкретно эффективную конструкцию с КПД теплопередачи свыше 90% и изменением температуры по трубной решетке менее 15°C даже при большом - 3 м - диаметре кожуха. Известные технические решения ограничивались значениями КПД <90% при изменении температуры трубной решетки около 100°C, потому что текучая среда, которая обходит трубный пучок и течет от входа к выходу, гораздо холоднее и будет демонстрировать тенденцию к охлаждению внешней периферии трубной решетки, тем самым приводя к температурному напряжению. В результате, эти известные технические решения нашли неудовлетворительное применение в таких процессах, как процесс Catofin™. Поскольку этот обход предотвращается, описываемая здесь конструкция, предусматривающая перегородки с кольцевыми уплотнениями, снижает температурное напряжение, которое могло бы привести к механическому отказу. Описываемые здесь варианты осуществления теплообменника с выгодой обеспечивают повышенную рекуперацию тепла (90%+) и по всему теплообменнику снижают изменения температуры, которые могут приводить к температурным напряжениям, а в конце концов - к отказу труб.

Распределение температуры для раскрываемых здесь теплообменников оказывается заметно равномерным по сравнению с другими способами и с изменением температуры по трубной решетке, составляющим менее 15°C. Эту неожиданно хорошую рабочую характеристику относят на счет выравнивания сопротивления потоку между входным штуцером кожуха и центром пучка безотносительно траектории текучей среды, и эта рабочая характеристика дополнительно повышается кольцевыми уплотнениями, которые можно предусмотреть у каждой перегородки. В том смысле, в каком он употребляется здесь, термин "кольцевое уплотнение" может относиться к комбинации конструкции окна перегородки (которая блокирует осевой поток между трубами и кожухом) и к "уплотнению для выходящего потока", которое блокирует осевой поток между перегородками и кожухом.

Обращаясь теперь к чертежам, где на фиг. 1А показан возможный вариант осуществления распределителя 20 кожухового типа, выполненный в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения для использования в теплообменнике 100. На фиг. 1В представлено сечение, проведенное на конце теплообменника 100 по линии А-А. Теплообменник 100 представляет собой кожухотрубный теплообменник с двумя входными штуцерами 52 и двумя выходными штуцерами 54 для текучей среды межтрубного пространства теплообменника, причем нагрев текучей среды кожуха возможен посредством текучей среды внутритрубного пространства. Специалисты в данной области техники легко поймут, что новые аспекты данного изобретения применимы к различным конструкциям теплообменников, а не ограничиваются теплообменниками "входящий/выходящий поток". Например, теплообменник может включать в себя единственный вход кожуха и единственный выход кожуха. Кроме того, теплообменник может иметь U-образный трубный пучок.

В случае теплообменника "входящий/выходящий поток" для процесса Catofin™, текучая среда межтрубного пространства теплообменника представляет собой подаваемый газ, а текучая среда внутритрубного пространства представляет собой горячий выходящий продукт реакции. Назначением теплообменника "входящий/выходящий поток" является передача по меньшей мере 90% доступной для использования тепловой энергии от выходящего газа подаваемому газу. Перепад давления во внутритрубном пространстве должен быть очень низким, чтобы поддерживать селективность реакции. Это приводит к большому количеству труб, а значит - и относительно низкой скорости в межтрубном пространстве теплообменника, что не способствует приемлемому распределению потока. Аналогично, поскольку КПД требуется высокий, т.е. >90%, приемлемое распределение оказывается существенным, так как если значительная часть холодного подаваемого газа обходит трубы и смешивается с теплым газом на выходе, дос-

тичь требуемого КПД не удастся из-за термодинамической эффективности смешения холодного газа с теплым газом.

Приводимые здесь варианты осуществления предусматривает использование двухсегментных перегородок с зонами окон, вырезанных из круглой пластины, вследствие чего у каждой перегородки предпочтительно предусматривается кольцевое уплотнение.

На фиг. 2А-2С показаны возможные круглые перегородки, которые можно использовать в раскрываемых здесь вариантах осуществления теплообменника. На фиг. 2А показана круглая перегородка первого типа - перегородка 64 экранного типа - с двумя сегментными окнами 65, вырезанными сверху и снизу пластины (или на противоположных сторонах - в зависимости от ориентации пластины). Сегментные окна 65 возможны в форме полукруга, как показано на фиг. 2А, или могут иметь другие формы в зависимости от приложения. Чтобы уплотнить зазор между перегородкой и кожухом, на периферии перегородки экранного типа, показанной на фиг. 2А используют кольцевое уплотнение 80.

На фиг. 2В показана круглая перегородка второго типа - крыловидная перегородка 66 с единственным сегментным окном 67, вырезанным из центра круглой перегородки. Это единственное сегментное окно 67 может быть прямоугольным, продолговатым или имеющим любую другую подходящую форму. В этом случае кольцевое уплотнение 80 накладывают на периферии круглой перегородки.

На фиг. 2С показана круглая перегородка третьего типа - торообразная перегородка 60 с единственной круглой секцией 61, вырезанной в центре. Во избежание утечки выходящего потока, с этой компоновкой перегородки тоже используют кольцевое уплотнение 80. Термин "утечка выходящего потока" можно отнести к потоку, утекающему между перегородками и кожухом. В некоторых вариантах осуществления тороидальная перегородка 60 согласно фиг. 2С может иметь некруглое отверстие и/или можно расположить отверстие не в центре. Например, можно вырезать отверстие в форме круга, но с удаленными сегментами.

На фиг. 3 показан возможный теплообменник, соответствующий раскрываемому здесь варианту осуществления данного изобретения. Как показано на фиг. 3, в теплообменнике 100 возможно использование двух наборов круглых перегородок, причем первый набор может представлять собой перегородки 64 экранного типа, как показано на фиг. 2А, имеющие по два сегментных окна 65, вырезанных сверху и снизу, а второй набор перегородок может представлять собой перегородки 66 крыловидного типа, как показано на фиг. 2В, имеющие единственное сегментное окно 67, вырезанное из центра круглой перегородки. Перегородки этих двух типов можно размещать в чередующемся порядке вдоль теплообменника, тогда как трубы будут опираться посредством отверстий, просверленных в перегородках. В месте, ближайшем к трубной решетке 90, на любом конце теплообменника 100 можно использовать перегородку третьего типа - тороидальную перегородку 60, такую, как показано на фиг. 2С.

Описываемый здесь теплообменник 100 также включает в себя кожуховый распределитель 20 (например - цилиндрическую полку). Кожуховый распределитель 20 имеет две диаметрально противоположных угловых секционных выреза 22, как лучше всего показано на фиг. 1А. Кожуховый распределитель 20 размещен вокруг трубного пучка и может простираться от перегородки 64 экранного типа до некоторой точки между выходным штуцером 54 или входным штуцером 52 и трубной решеткой 90. Угловые секции 22 вырезаны из цилиндрической полки 20 таким образом, что сопротивление потоку от центра пучка ко входу 52 оказывается одинаковым безотносительно траектории текущей среды. Угол β может составлять от приблизительно 10-30°, так что сопротивление потоку из входного штуцера 52 к центру торообразной перегородки 60 одинаково вдоль всех траекторий между входным штуцером 52 и центром трубного пучка. Например, β может составлять примерно 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 или примерно 30°. В варианте осуществления, раскрытом на фиг. 3, теплообменник 100 включает в себя второй кожуховый распределитель 20, связанный с выходным концом кожуха. Этот распределитель может быть выполнен таким же, как полка, находящаяся на входном конце, а сопротивление потоку тоже одинаково вдоль всех траекторий от центра трубного пучка к выходному штуцеру 52. Понятно, что в рамках объема притязаний данного изобретения теплообменник 100 может быть выполнен с единственной входной или выходной полкой.

Как показано на фиг. 1А, тороидальную перегородку 60 и перегородку 64 экранного типа можно использовать, чтобы обеспечить опору для полки 20.

Отметим, что теплообменник 100 можно оснастить обычными перегородками. Однако эффективность и механическая целостность теплообменника 100 оказывается повышенной, когда кожуховый распределитель 20 используют в сочетании с предлагаемыми в данном изобретении конструкциями и компоновками перегородок и с кольцевым уплотнением в месте нахождения каждой перегородки.

На фиг. 4 показано сечение четверти секции возможного теплообменника, который выполнен в соответствии с вариантом осуществления данного изобретения. Как показано, теплообменник 200 может включать в себя торообразную перегородку 60 на одном конце, чередующиеся перегородки 64/66 с вырезанными окнами, как показано на фиг. 2А-2С и описано выше в связи с ними, трубные пучки 92, полку и "уплотнения 95 выходящего потока". Специалисты в данной области техники легко поймут, что вместо одной или нескольких двухсегментных перегородок можно использовать перегородки других типов, та-

кие как дискообразные и тороидальные перегородки. В частности, можно рассмотреть возможность использования комбинаций двухсегментных перегородок или перегородок других типов.

Совместное использование всех конструктивных признаков, показанных на фиг. 1В, 2 и 5, обеспечивает достижение оптимального распределения потока по всей длине теплообменника, снижение механических напряжений, обуславливаемых градиентами температуры вокруг трубного пучка. Двухсегментные перегородки со специальным профилем, показанные на фиг. 2А и 2В, можно заменить перегородками другого типа, диктуемого требуемыми опорами и тепловыми рабочими характеристиками труб. Какую бы форму перегородки ни выбирали, ее профиль должен следовать тем же указаниям, которые действительны для двухсегментной перегородки; т.е. из перегородки надо вырезать окна, блокируя осевую утечку в области без труб и обеспечивая установку кольцевого уплотнения по всей периферии перегородки, чтобы блокировать утечку выходящего потока. В некоторых случаях, где изготовление обеспечивает непроницаемое перегораживание просвета кожуха или когда предполагаемая утечка выходящего потока не имеет существенного значения, кольцевое уплотнение можно опустить.

Кожуховые распределители 20 предназначены для создания распределения потока, как на входе, так и на выходе, как можно более неизменного по всей периферии - на 360°. Оптимальное распределение потока достигается путем уравнивания гидравлических сопротивлений во всех направлениях для получения оптимального распределения, показанного на фиг. 7В. В случае теплообменников с малыми диаметрами кожухов и пониженными расходом возможно использование единственного входного и выходного штуцера. Самая длинная траектория будет на 180° от штуцера, а не на 90°, как в случае с двумя входными и выходными штуцерами. Уравнивание потоков может быть достигнуто путем вырезания более крупных окон в распределителе на переходе от штуцера к самой длинной траектории, или разрезания распределителя под углом.

На фиг. 5 представлен поперечный разрез гибкого уплотнительного приспособления 80а для использования в приводимых здесь вариантах осуществления. Кольцевые уплотнения 80, накладываемые на описываемые здесь перегородки 60/64/66, можно улучшить с помощью гибкого сопряжения между перегородкой и кожухом. Гибкое уплотнение 80а может быть выполнено либо с единственным, либо с несколькими слоями материала, например, путем использования такого материала, как нержавеющая сталь 304, или аналогичного. В качестве примера отметим, что кольцевое уплотнение, используемое для уплотнения продольной перегородки, может быть аналогичным уплотнению Т4 от фирмы Kempchen & Co. GmbH, Оберхаузен, Германия, или продольному уплотнению, продемонстрированному в патенте США № 4215745. Хотя на фиг. 5 показаны кольцевые уплотнительные элементы 81а, наложенные на обе стороны перегородок 60/64/66, уплотнительный элемент 81а можно накладывать лишь на одну сторону перегородок. Помимо этого, во избежание повреждения рот вставления пучка, кольцевые полоски 81а следует устанавливать на стороне, противоположной направлению вставления, а просвет между перегородкой и кожухом надо минимизировать (например, предпочтительно соответствие половине допуска, предусматриваемого Ассоциацией изготовителей трубчатых теплообменников (ТЕМА). Конфигурация радиуса "R" полоски должна обеспечивать наличие высокой гибкости и предотвращение остаточной деформации полосок 81а во время вставления пучка.

Высококачественные теплообменники "входящий/выходящий поток" характеризуются как крупногабаритные кожухотрубные теплообменники, которые не являются повсеместно представленными в промышленности. Чаще всего используемое программное обеспечение проектирования (HTRITM) не способно надежно предсказывать рабочие характеристики этого оборудования и обычно дает завышенное предсказание теплотехнических характеристик, потому что утечка текучей среды в пространствах между перегородками и кожухом не учитывается для корректности расчетов. А если так, то результаты использования HTRITM для проектирования такого оборудования могут приводить к серьезному невыполнению плановых показателей, поскольку очень высокий КПД (>90%) предсказать можно, а на практике достичь нельзя. Приводимые здесь варианты осуществления проверены с помощью моделирований методами вычислительной гидродинамики, которые показывают, что тепловой КПД можно увеличить на несколько процентных пунктов до примерно 90% или выше и что изменение температуры поверхности трубной решетки можно уменьшить до примерно 15°C или ниже.

В обычных конструкции теплообменника поток занимает более короткую траекторию между трубами и кожухом на основании более низкого гидравлического сопротивления потоку, что приводит к асимметричному профилю неравномерного потока. В результате, температура трубной решетки оказывается весьма неравномерной, приводя к неудовлетворительному КПД и высоким механическим напряжениям из-за градиентов температуры. В предлагаемой же конструкции, благодаря кожуховому распределителю, большинство текучей среды, проходящей через концевую зону, течет через трубную решетку равномерно и симметрично, так что температура трубной решетки равномерна по всей траектории. Сочетание кольцевого уплотнения у каждой перегородки и скошенного тороидального распределителя желательны для получения этой оптимальной структуры потока.

На фиг. 7А показан профиль распределения температуры на входе существующей теплообменной системы (верхняя трубная решетка). На фиг. 7В и 7С показаны распределения температуры на входе

(верхняя трубная решетка) теплообменника, разработанного и воплощенного так, как здесь описано. На фиг. 7В показано распределение температуры на входе в масштабе, меньшем по отношению к фиг. 7А.

На фиг. 8А представлено схематическое изображение возможного профиля распределения температуры на выходе кожуха существующего теплообменника. На фиг. 8В (частный масштаб) и 8С (диск в том же масштабе) представлены схематические виды возможного профиля распределения температуры на выходе кожуха теплообменника, который выполнен в соответствии с данным изобретением.

Как показано в представленном возможном случае, диапазон температуры на протяжении трубной решетки уменьшается от $\sim 100^{\circ}\text{C}$ в известном теплообменнике до $\sim 15^{\circ}\text{C}$ в теплообменнике согласно данному изобретению.

Следует отметить, что, хотя приведенные здесь варианты осуществления описаны применительно к установке, применяемой в процессе Catofin, также предполагается, что различные варианты осуществления также можно было бы применить к любому процессу, где желательны высокий уровень рекуперации тепла и высокая эффективность, а текучая среда в межтрубном пространстве теплообменника представляет собой высокотемпературный газ. Например, в этом контексте можно назвать производство стиролового мономера посредством процессов Catadiene, SMART или другой процесс, такой как производство сжиженного природного газа (СПГ).

Способы и системы согласно данному изобретению, описанные выше и проиллюстрированные на чертежах, обеспечивают кожухотрубные теплообменники. Хотя аппараты и способы согласно предложенному изобретению проиллюстрированы и описаны со ссылками на предпочтительные варианты осуществления, специалисты в данной области техники легко поймут, что в рамках объема притязаний предложенного изобретения в него можно внести изменения и/или модификации.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Кожухотрубный теплообменник, содержащий:

удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось для теплообменника и внутреннюю камеру, причем кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, чтобы обеспечить прохождение подаваемого газа во внутреннюю камеру и выход его из нее;

по меньшей мере одну трубную решетку, связанную с концом удлиненного кожуха;

множество продольно разнесенных круглых перегородок внутри внутренней камеры кожуха для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры;

трубный пучок, который включает в себя множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область; и

первый кожуховый распределитель, выполненный с возможностью направления потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки, причем первый кожуховый распределитель имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез для распределения потока подаваемого газа.

2. Теплообменник по п.1, в котором во внешней стенке кожуха сформированы два входа для подаваемого газа и два выхода для подаваемого газа.

3. Теплообменник по п.2, в котором первый кожуховый распределитель имеет два угловых среза, сформированных на его конце, для распределения потока подаваемого газа.

4. Теплообменник по п.1, в котором упомянутый по меньшей мере один кожуховый распределитель включает в себя по меньшей мере одну круглую перегородку.

5. Теплообменник по п.4, в котором кожуховый распределитель включает в себя тороидальную перегородку, имеющую центральную область окна.

6. Теплообменник по п.5, в котором кожуховый распределитель дополнительно включает в себя перегородку экранного типа, имеющую кольцевой уплотнительный элемент.

7. Теплообменник по п.1, в котором упомянутый по меньшей мере один угловой срез, сформированный на конце упомянутого по меньшей мере одного кожухового распределителя, выполнен под углом $10-30^{\circ}$.

8. Теплообменник по п.1, дополнительно включающий в себя второй кожуховый распределитель, который имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез, а также компоновку и конфигурацию, обеспечивающие направление потока подаваемого газа из внутренней камеры к выходу для подаваемого газа.

9. Теплообменник по п.1, в котором множество перегородок включает в себя как перегородки экранного типа, так и крыловидные перегородки, расположенные в чередующемся порядке.

10. Теплообменник по п.1, в котором с каждой из множества перегородок связано кольцевое уплотнение.

11. Теплообменник по п.10, в котором кольцевое уплотнение включает в себя гибкий элемент, который проходит между перегородкой и кожухом.

12. Теплообменник по п.11, в котором гибкий элемент предусмотрен на обеих сторонах перегородки.

ки.

13. Теплообменник по п.1, в котором множество круглых перегородок включает в себя по меньшей мере одну перегородку экранного типа, сформированную путем вырезания двух диаметрально противоположных окон с получением отражательной пластины.

14. Теплообменник по п.1, в котором множество круглых перегородок включает в себя по меньшей мере одну крыловидную перегородку, сформированную путем вырезания одного окна с получением отражательной пластины.

15. Теплообменник по п.1, в котором множество круглых перегородок включает в себя тороидальную перегородку, сформированную путем вырезания круглого окна с получением отражательной пластины.

16. Кожухотрубный теплообменник, содержащий:

удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось для теплообменника и внутреннюю камеру, причем кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, чтобы обеспечить прохождение подаваемого газа во внутреннюю камеру и выход его из нее;

по меньшей мере одну трубную решетку, связанную с концом удлиненного кожуха;

множество продольно разнесенных круглых перегородок внутри внутренней камеры кожуха для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры, причем множество перегородок включает в себя перегородки экранного типа и крыловидные перегородки, а каждая перегородка включает в себя кольцевое уплотнение;

трубный пучок, который включает в себя множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область; и

первый кожуховый распределитель, выполненный с возможностью направления потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки, причем первый кожуховый распределитель имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез для распределения потока подаваемого газа.

17. Теплообменник по п.16, в котором первый кожуховый распределитель имеет два угловых среза, сформированных на его конце, для распределения потока подаваемого газа.

18. Теплообменник по п.16, в котором упомянутый по меньшей мере один кожуховый распределитель включает в себя по меньшей мере одну круглую перегородку.

19. Теплообменник по п.18, в котором кожуховый распределитель включает в себя тороидальную перегородку, имеющую центральную область окна.

20. Теплообменник по п.19, в котором кожуховый распределитель дополнительно включает в себя перегородку экранного типа, имеющую кольцевой уплотнительный элемент.

21. Теплообменник по п.16, в котором упомянутый по меньшей мере один угловой срез, сформированный на конце упомянутого по меньшей мере одного кожухового распределителя, выполнен под углом 10-30°.

22. Теплообменник по п.16, дополнительно включающий в себя второй кожуховый распределитель, который имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез, а также компоновку и конфигурацию, обеспечивающие направление потока подаваемого газа из внутренней камеры к выходу для подаваемого газа.

23. Теплообменник по п.16, в котором множество перегородок экранного типа, так и крыловидных перегородок расположены в чередующемся порядке.

24. Теплообменник по п.16, в котором кольцевое уплотнение включает в себя гибкий элемент, который проходит между перегородкой и кожухом.

25. Теплообменник по п.24, в котором гибкий элемент предусмотрен на обеих сторонах перегородки.

26. Теплообменник по п.16, в котором тороидальные перегородки сформированы путем вырезания двух диаметрально противоположных окон с получением отражательной пластины.

27. Теплообменник по п.16, в котором крыловидные перегородки сформированы путем вырезания одного окна с получением отражательной пластины.

28. Теплообменник по п.16, в котором тороидальные перегородки сформированы путем вырезания круглого окна с получением отражательной пластины.

29. Кожухотрубный теплообменник, содержащий:

удлиненный цилиндрический кожух, который определяет продольную ось для теплообменника и внутреннюю камеру, причем кожух имеет по меньшей мере один вход для подаваемого газа и выход для подаваемого газа, сформированные во внешней стенке, чтобы обеспечить прохождение подаваемого газа во внутреннюю камеру и выход его из нее;

по меньшей мере одну трубную решетку, связанную с концом удлиненного кожуха;

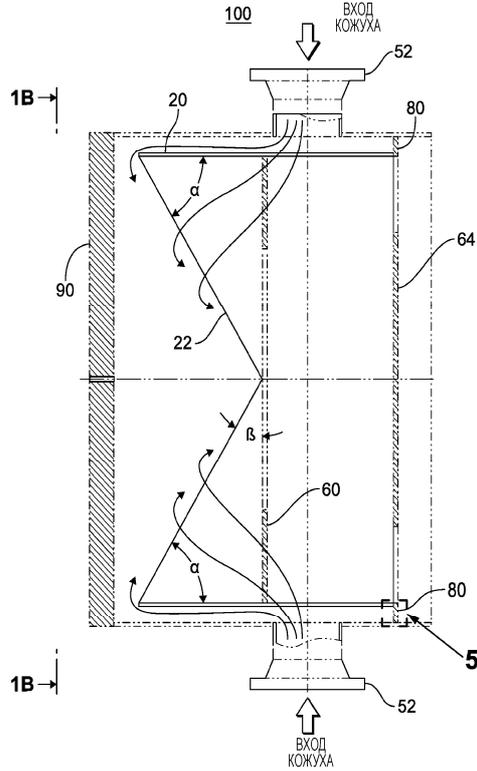
множество продольно разнесенных круглых перегородок внутри внутренней камеры кожуха для перенаправления потока подаваемого газа внутри внутренней камеры, причем множество перегородок включает в себя гибкое кольцевое уплотнение, проходящее между перегородкой и кожухом;

трубный пучок, который включает в себя множество труб для обеспечения прохождения выходящего газа из входной области через внутреннюю камеру кожуха в выходную область; и

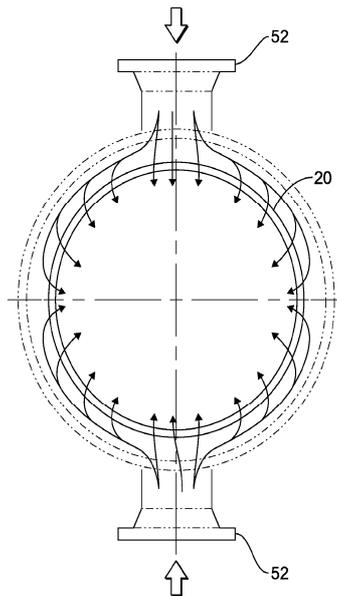
первый кожуховый распределитель, выполненный с возможностью направления потока подаваемого газа со входа для подаваемого газа во внутреннюю камеру вблизи упомянутой по меньшей мере одной трубной решетки, причем первый кожуховый распределитель имеет по меньшей мере один сформированный на его конце угловой срез для распределения потока подаваемого газа.

30. Теплообменник по п.24, в котором гибкий элемент предусмотрен на обеих сторонах перегородки.

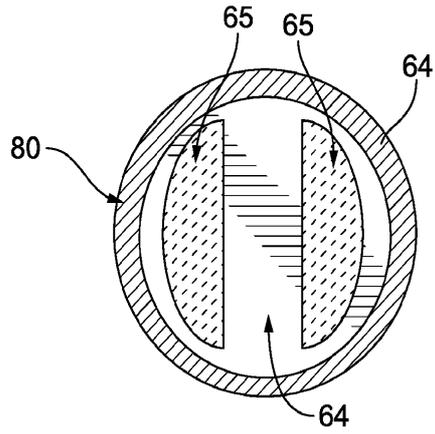
31. Теплообменник по п.24, в котором гибкий элемент изготовлен из нержавеющей стали.



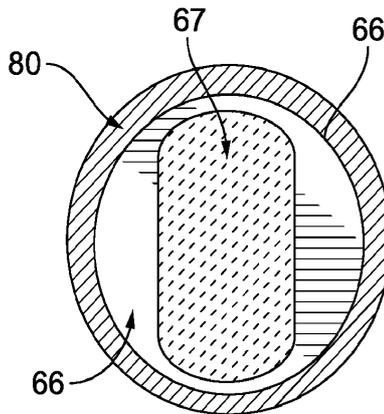
Фиг. 1А



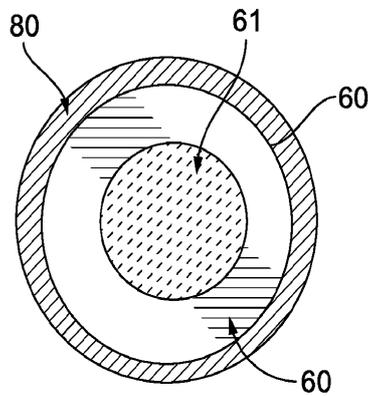
Фиг. 1В



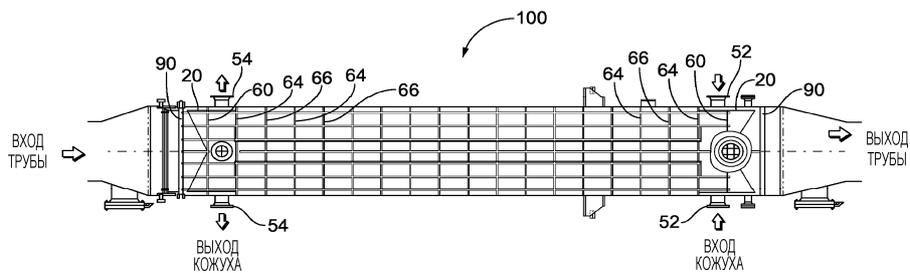
Фиг. 2А



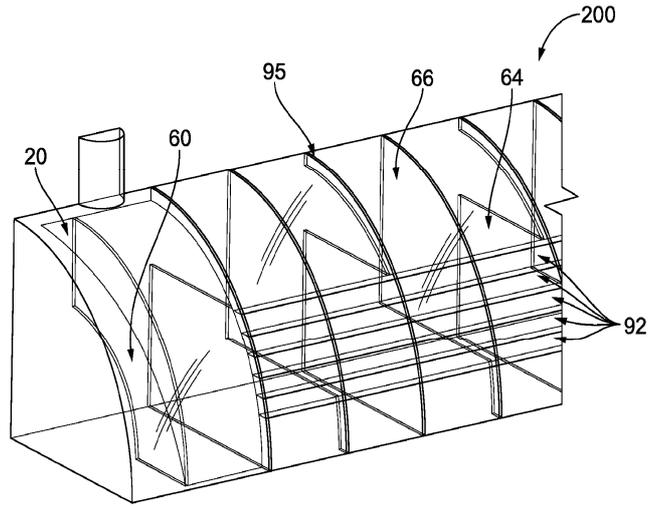
Фиг. 2В



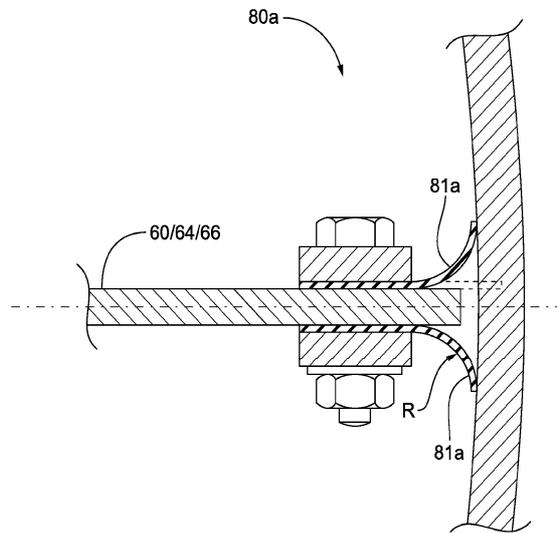
Фиг. 2С



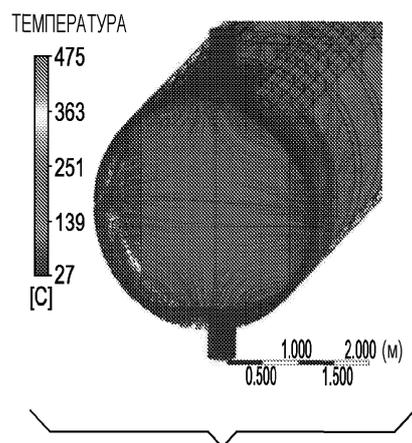
Фиг. 3



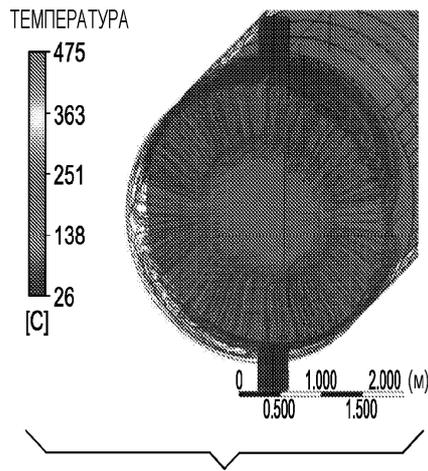
Фиг. 4



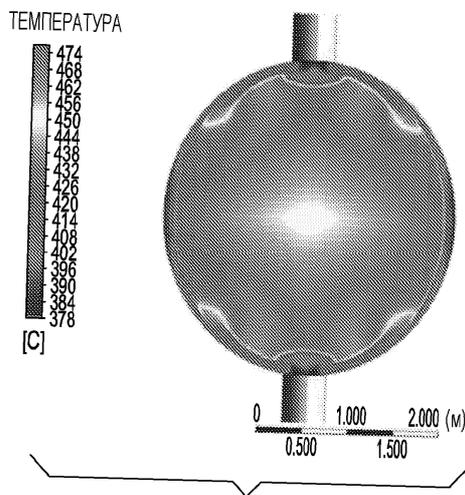
Фиг. 5



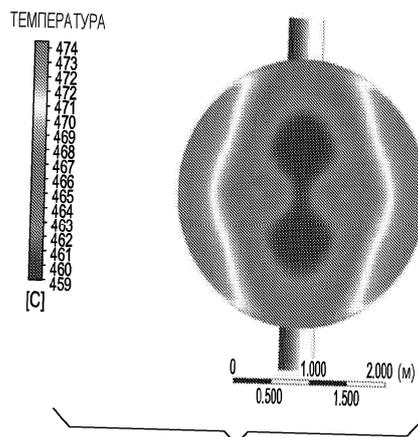
Фиг. 6А



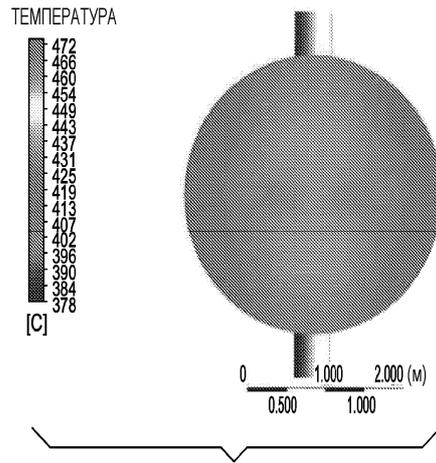
Фиг. 6B



Фиг. 7A



Фиг. 7B



Фиг. 7С