

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **033570**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2019.11.06**

(21) Номер заявки  
**201792002**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.10.09**

(51) Int. Cl. *F28C 3/06* (2006.01)  
*F28D 1/047* (2006.01)  
*F28F 1/02* (2006.01)

---

(54) **КОСВЕННЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК**

---

(31) **15/291,773**

(32) **2016.10.12**

(33) **US**

(43) **2018.04.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**БАЛТИМОР ЭЙРКОЙЛ КОМПАНИ,  
ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:

**Бивер Эндрю, Аарон Дэвид Эндрю,  
Русселет Йоханн Лилиан (US)**

(74) Представитель:

**Угрюмов В.М., Лыу Т.Н., Гизатуллина  
Е.М., Карпенко О.Ю., Строкова О.В.,  
Глухарёва А.О., Дементьев В.Н. (RU)**

(56) RU-U1-65188  
RU-C1-2334919  
SU-A1-1808285  
US-A1-20100270007

---

(57) Предложен улучшенный косвенный теплообменник, который состоит из множества контуров змеевика, каждый из которых состоит из трубных звеньев или пластин секции косвенного теплообмена. Каждое трубное звено или пластина характеризуется по меньшей мере одним изменением своей геометрической формы. Альтернативно, каждое трубное звено или пластина могут характеризоваться постепенным изменением геометрической формы, начиная от впуска и заканчивая выпуском контура. Изменение геометрической формы на протяжении длины контура позволяет одновременно сбалансировать внешний поток воздуха, коэффициенты внутреннего теплообмена, внутренний перепад давления текучей среды, площадь поперечного сечения и площадь поверхности теплообмена для оптимизации теплообмена.

---

**B1**

**033570**

**033570**

**B1**

### **Предшествующий уровень техники и краткое раскрытие настоящего изобретения**

Настоящее изобретение относится к теплообменникам и более конкретно к косвенному теплообменнику, состоящему из множества контуров трубных звеньев. Каждый контур состоит из трубы, характеризующейся наличием множества трубных звеньев и множества обратных колен. Каждая труба может характеризоваться одинаковой площадью поверхности от области поблизости ее соединения с впускным коллектором до области поблизости ее соединения с выпускным коллектором. Однако геометрия трубного звена изменяется по мере прохождения трубных звеньев от впуска к области поблизости выпускного коллектора. В одном случае горизонтальный размер поперечного сечения трубных звеньев уменьшается по мере того, как трубные звенья приближаются к выпускному коллектору. Указанное уменьшение горизонтального размера поперечного сечения может быть постепенным от области поблизости впускного коллектора до области поблизости выпускного коллектора или каждое трубное звено змеевика может характеризоваться постоянным горизонтальным размером поперечного сечения, при этом по меньшей мере один горизонтальный размер поперечного сечения трубных звеньев уменьшается ближе к выпускному коллектору.

В частности, предлагается косвенный теплообменник, содержащий множество контуров, впускной коллектор, соединенный с впускным концом каждого контура, и выпускной коллектор, соединенный с выпускным концом каждого контура. Каждый контур содержит трубное звено, которое проходит в виде группы прямых участков и обратных колен от впускного конца каждого контура к выпускному концу каждого контура. Согласно этим вариантам осуществления трубные звенья могут характеризоваться наличием обратных колен или могут представлять собой одну длинную трубу без обратных колен, такую как в случае змеевика парового конденсатора. Каждое трубное звено контура характеризуется заданным горизонтальным размером поперечного сечения поблизости впускного конца каждого контура змеевика, и каждое трубное звено контура характеризуется уменьшением горизонтального размера поперечного сечения по мере того, как труба контура проходит от области поблизости впускного конца каждого контура к области поблизости выпускного конца каждого контура змеевика.

В представленных вариантах осуществления на первых звеньях поблизости от впускного коллектора труба имеет геометрию с большим горизонтальным размером поперечного сечения или большой площадью поперечного сечения, после чего имеет место уплощение или уменьшение (по меньшей мере один раз) горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев от впуска до выпуска и, как правило, в направлении потока воздуха. Ключевое преимущество постепенного уплощения элементов конденсатора заключается в том, что площадь проходного сечения должна быть наибольшей в месте поступления наименее плотного пара в трубное звено. Это позволяет подавать газ в трубное звено, уменьшая внутренний перепад давления, что обеспечивает поступление большего количества пара в трубные звенья. Уменьшение горизонтального размера поперечного сечения трубного звена или уплощение трубы в направлении потока воздуха обеспечивает несколько преимуществ по сравнению с известными теплообменниками. Во-первых, уменьшенная площадь проекции снижает коэффициент сопротивления, что обуславливает более низкое сопротивление потока воздуха, благодаря чему обеспечивается приток большего объема воздуха. Помимо увеличения потока воздуха в случае конденсаторов, поскольку происходит конденсация рабочего вещества, требуется меньшая площадь проходного сечения по мере прохождения текучей среды от начала (пар - низкая плотность) к концу (жидкость - высокая плотность), поэтому предпочтительно уменьшить площадь проходного сечения по мере прохождения текучей среды от впуска к выпуску, обеспечивая более высокие внутренние скорости текучей среды и, следовательно, более высокие коэффициенты внутреннего теплообмена. Это справедливо для конденсаторов и охладителей текучей среды, особенно охладителей текучей среды с низкими значениями внутренней скорости текучей среды. Согласно одному представленному на фигурах варианту осуществления труба вначале может быть круглой, при этом ее геометрическая форма постепенно становится более обтекаемой для каждой группы двух трубных звеньев. Решение о том, какое количество трубных звеньев будет характеризоваться более обтекаемой формой и уменьшением горизонтального размера поперечного сечения, а также какова необходимая величина этого уменьшения, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы.

Стандартные диаметры трубных звеньев, используемых в косвенных теплообменниках, находятся в диапазоне от 1/4 до 2,0 дюймов, при этом настоящее изобретение не ограничивается этим диапазоном. Когда трубные звенья начинаются с большой площади проходного сечения и постепенно уплощаются, периметр трубы и, следовательно, площадь поверхности остаются, по существу, неизменными при любом уплощении для данного диаметра трубы, тогда как площадь проходного сечения постепенно уменьшается, при этом также уменьшается площадь проекции в потоке воздуха, поступающего снаружи в косвенный теплообменник. Общая форма сплюсненной трубы может представлять собой эллиптическую форму, овальную форму с одной или двумя осями симметрии, овальную форму с плоскими боками или любую другую обтекаемую форму. Ключевым показателем при определении эффективности производительности и перепада давления каждого прохода является отношение длины (вертикальной) стороны овала к короткой (горизонтальной) стороне овала. Круглая труба будет характеризоваться отношением 1:1. Уровень уплощения задают путем увеличения значения отношений сторон. Настоящее изобретение

включает в себя значения отношения в диапазоне от 1:1 до 6:1, что позволяет выбрать оптимальную производительность. Оптимальное максимальное значение отношения осей овала для каждого трубного звена косвенного теплообменника зависит от рабочей текучей среды внутри змеевика, желаемой величины улучшения характеристик воздушного потока, желаемого увеличения внутренней скорости текучей среды и увеличения коэффициентов внутреннего теплообмена, рабочих условий змеевика, допустимого перепада давления внутри трубы, а также технологичности желаемой геометрии змеевика. В идеальной ситуации все эти параметры будут сбалансированы для удовлетворения конкретного желания потребителя с оптимизацией производительности системы, что минимизирует потребление энергии и воды.

Неравномерность прогресса выполнения уплощения звеньев трубы является важным аспектом настоящего изобретения. С одной стороны, это конструкция, в которой величина уплощения постепенно увеличивается на протяжении длины нескольких проходов или трубных звеньев каждого контура. Это может быть выполнено при помощи автоматизированной валковой системы, интегрированной в процесс изготовления труб. Аналогичная конструкция с меньшей неравномерностью будет включать в себя по меньшей мере одно ступенчатое сужение, в результате чего один или более проходов или трубных звеньев каждого контура будут иметь одинаковый уровень уплощения. Например, в одной конструкции первое трубное звено может быть лишено какого-либо уплощения, как в случае круглой трубы, следующие три трубных звена контура будут иметь один уровень фактора сжатия (степень уплощения) и четыре остальных прохода трубных звеньев будут иметь другой уровень фактора сжатия (более высокую степень уплощения). Более равномерная конструкция будет иметь один или более проходов или трубных звеньев из круглых труб, за которыми будут следовать один или более проходов или трубных звеньев из уплощенных труб с первым уровнем сжатия. Это может быть выполнено с помощью набора валков или путем выполнения верхнего змеевика из круглых труб и нижнего змеевика из эллиптических или сплюснутых труб. Еще один способ производства труб с различными геометрическими формами будет заключаться в изготовлении при помощи штамповки различных форм труб и их последующей сварке друг с другом, как раскрыто в документе 4434112. Вполне вероятно, что в скором времени теплообменники будут проектироваться и изготавливаться при помощи трехмерных принтеров с обеспечением точной геометрии, чтобы оптимизировать теплообмен согласно настоящему изобретению.

Уплощение трубных звеньев может быть осуществлено в ходе процесса производства труб путем добавления автоматических валков между процессами изгиба и проката труб. Альтернативно, процесс уплощения может быть выполнен в качестве отдельной стадии, при этом операция прессования предусмотрена после осуществления процесса изгиба. Представленные варианты осуществления применимы к любым стандартным материалам труб теплообменника, наиболее распространенными из которых являются оцинкованная углеродная сталь, медь, алюминий и нержавеющая сталь, при этом настоящее изобретение не ограничивается указанными материалами.

Если имеет место постепенное уплощение контуров труб, в результате чего снижается горизонтальный размер поперечного сечения, можно чрезвычайно плотно расположить контуры трубных звеньев контур без блокировки внешнего потока воздуха. Таким образом, предложенные варианты осуществления предусматривают "чрезвычайно плотную установку" контуров труб косвенного теплообменника. Способ, раскрытый в патенте США 6820685, может быть использован для выполнения уплотненных зон в районе перекрытия U-образных колен, чтобы при необходимости локально уменьшить диаметр в области обратного колена. Кроме того, специалисты в данной области техники будут способны изготавливать обратные колена в трубных звеньях с желаемыми отношениями уплощения, при этом следует отметить, что настоящее изобретение не ограничивается этим.

Другой путь изменения геометрической формы заключается в использовании верхнего и нижнего косвенных теплообменников. Верхний теплообменник может быть полностью изготовлен из круглых труб, тогда как нижний теплообменник может быть изготовлен из труб с более обтекаемой формой. Благодаря этому сохраняется площадь поверхности теплообмена при одновременном увеличении общего потока воздуха и уменьшении площади проходного сечения. Другой путь изменения геометрической формы заключается в использовании верхнего и нижнего косвенных теплообменников. Верхний теплообменник может быть полностью изготовлен из круглых труб, тогда как нижний теплообменник может быть изготовлен с меньшим числом контуров по сравнению с верхним змеевиком. Благодаря этому уменьшается площадь поверхности теплообмена при одновременном увеличении общего потока воздуха и уменьшении площади проходного сечения. Следует отметить, что, пока верхний и нижний змеевики характеризуются по меньшей мере одним изменением геометрической формы или количества контуров, система косвенного теплообмена будет соответствовать этому варианту осуществления.

Целью настоящего изобретения является уменьшение коэффициента сопротивления и обеспечение большего внешнего потока воздуха путем использования вначале трубных звеньев с большой площадью проходного сечения, а затем осуществления постепенного уменьшения горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев по мере их прохождения от впуска к выпуску.

Цель настоящего изобретения - путем использования вначале трубных звеньев с большой площадью проходного сечения, а затем осуществления постепенного уменьшения горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев по мере их прохождения от впуска к выпуску обеспечение посту-

пления текучей среды наименьшей плотности (пара) в трубное звено с крайне малым перепадом давления, чтобы максимально увеличить внутренний расход текучей среды.

Целью настоящего изобретения является обеспечение чрезвычайно плотного расположения контуров труб без блокирования внешнего потока воздуха путем использования вначале трубных звеньев с большой площадью проходного сечения, а затем осуществления постепенного уменьшения горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев по мере их прохождения от впуска к выпуску.

Целью настоящего изобретения является увеличение внутренней скорости текучей среды и увеличение коэффициентов внутреннего теплообмена в направлении внутреннего канала текучей среды путем использования вначале трубных звеньев с большой площадью проходного сечения, а затем осуществления постепенного уменьшения горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев по мере их прохождения от впуска к выпуску.

Целью настоящего изобретения является получение преимущества того, что, поскольку пар конденсируется, необходима меньшая площадь поперечного сечения, что в результате обеспечивает более высокие коэффициенты внутреннего теплообмена с большим потоком воздуха и, следовательно, большей производительностью, путем использования в конденсаторах вначале трубных звеньев с большой площадью проходного сечения, а затем осуществления постепенного уменьшения горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев по мере их прохождения от впуска к выпуску.

Целью настоящего изобретения является выполнение адаптации конструкции косвенного теплообменника для удовлетворения и превышения ожиданий потребителя путем использования вначале трубных звеньев с большой площадью проходного сечения, а затем осуществления постепенного уменьшения горизонтального размера поперечного сечения трубных звеньев по мере их прохождения от впуска к выпуску, обеспечивая баланс между требованием потребителя к производительности и допустимым внутренним перепадом давления текучей среды.

Целью настоящего изобретения является обеспечение поддержания одновременного баланса между внешним потоком воздуха, коэффициентами внутреннего теплообмена, площадью поперечного сечения и площадью поверхности теплообмена для оптимизации теплообмена путем изменения геометрической формы трубных звеньев контура по мере их прохождения от впуска к выпуску.

Целью настоящего изобретения является обеспечение поддержания одновременного баланса между внешним потоком воздуха, коэффициентами внутреннего теплообмена, площадью поперечного сечения и площадью поверхности теплообмена для оптимизации теплообмена путем изменения геометрической формы пластинчатого змеевика по мере их прохождения от впуска к выпуску.

#### **Краткое описание фигур**

На прилагаемых чертежах представлено следующее:

на фиг. 1 - вид сбоку известного косвенного теплообменника, содержащего группу трубных звеньев змеевика;

на фиг. 2А - вид сзади косвенного теплообменника в соответствии с первым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 2В - вид сзади косвенного теплообменника в соответствии со вторым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 3 - вид сбоку одного контура из косвенного теплообменника в соответствии с первым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4А - вид сзади косвенного теплообменника в соответствии с третьим вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4В - вид сзади косвенного теплообменника в соответствии с четвертым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 5 - вид сзади косвенного теплообменника в соответствии с пятым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 6 - вид сзади двух косвенных теплообменников в соответствии с шестым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 7А - вид сзади двух косвенных теплообменников в соответствии с седьмым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 7В - вид сзади двух косвенных теплообменников в соответствии с восьмым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 7С - вид сзади двух косвенных теплообменников в соответствии с девятым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 8 - вид сзади двух косвенных теплообменников в соответствии с десятым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 9 - трехмерный вид косвенного теплообменника в соответствии с одиннадцатым вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 10А, 10В и 10С - частичные виды в перспективе одиннадцатого варианта осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 11А - вид сзади косвенного теплообменника в соответствии с двенадцатым вариантом осу-

ществления настоящего изобретения;

на фиг. 11В - трехмерный вид двенадцатого варианта осуществления настоящего изобретения.

#### **Подробное раскрытие настоящего изобретения**

Рассмотрим фиг. 1, на которой представлен известный аппарат 10 со змеевиком испарительного охлаждения, который может представлять собой башенный охладитель с замкнутым контуром или испарительный конденсатор. Оба аппарата хорошо известны и могут работать с распылением жидкости в испарительном режиме, с частичным распылением жидкости в гибридном режиме или без распыления жидкости, причем насос 12 для распыления отключен при наличии соответствующих условий окружающей среды или более низких нагрузок. Насос 12 получает самую холодную распыленную текучую среду, как правило, воду, из сборника 11 холодной воды и подает ее в главный коллектор 19 для распыляемой воды, где вода попадает в сопла или отверстия 17, из которых она выходит, распределяясь над косвенным теплообменником 14. Коллектор 19 для распыляемой воды и сопла 17 предназначены для равномерного распределения воды над верхней частью косвенного теплообменника 14. Во время распределения самой холодной воды над верхней частью косвенного теплообменника 14 электродвигатель 21 вращает вентилятор 22, который нагнетает или втягивает окружающий воздух через впускные жалюзи 13, далее вверх через косвенный теплообменник 14, а затем через каплеуловители 20, которые не дают каплям покидать установку, после чего нагретый воздух направляется в окружающую среду. Направление перемещения воздуха обычно противоположно направлению падения распыляемой воды. Хотя на фиг. 1 представлен осевой вентилятор 22, нагнетающий или перемещающий воздух через установку, фактическая вентиляторная система может быть любой вентиляторной системой, обеспечивающей перемещение воздуха через установку, включая, кроме прочего, создание искусственной или принудительной тяги для перемещения воздуха, по существу, в противоположном, поперечном или параллельном направлении относительно потока распыляемой жидкости. Дополнительно, электродвигатель 21 может быть соединен с вентилятором при помощи ременного привода, как изображено на чертеже, редукторного привода или прямого привода. Представленный на чертеже косвенный теплообменник 14 содержит впускную соединительную трубу 15, присоединенную к впускному коллектору 24, и выпускную соединительную трубу 16, присоединенную к выпускному коллектору 25. Впускной коллектор 24 соединяется с впуском множества контуров труб змеевика, тогда как выпускной коллектор 25 соединяется с выпуском множества контуров труб змеевика. Трубные звенья змеевика соединены при помощи секций 18 в виде обратного колена. Секции 18 в виде обратного колена могут быть выполнены как одно целое с контуром, именуемым трубными звеньями змеевика, или могут быть приварены к прямым участкам труб. Следует понимать, что направление рабочей текучей среды может быть изменено на противоположное для оптимизации теплообмена, при этом представленные варианты осуществления не ограничиваются направлением текучей среды. Кроме того, следует понимать, что представленные варианты осуществления не ограничиваются количеством контуров и количеством проходов или рядов трубных звеньев внутри косвенного теплообменника со змеевиком.

Рассмотрим фиг. 2А, на которой представлен змеевик 100 косвенного теплообмена в соответствии с первым вариантом осуществления настоящего изобретения. На фиг. 2А представлено восемь контуров и восемь проходов или рядов труб варианта осуществления 100. Косвенный теплообменник 100 характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 102 и 104 и состоит из трубных звеньев 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112 и 113. Трубные звенья 106 и 107 представляют собой пару круглых труб идентичной геометрии, которым присущи эквивалентные значения диаметра 101. Трубные звенья 108 и 109 представляют собой другую пару трубных звеньев, которые характеризуются отличающейся геометрией по сравнению с трубными звеньями пары 106 и 107, а также эквивалентными формами, имеющими меньшие горизонтальные размеры D3 и увеличенный горизонтальный размер D4 по сравнению с круглыми трубами 106 и 107.

Значение отношения D4 к D3 обычно превышает 1,0 и меньше 6,0. Кроме того, трубные звенья 108 и 109 косвенного теплообменника могут характеризоваться постоянным значением отношения D4 к D3 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D4 к D3 вдоль своей длины. Пара трубных звеньев 110 и 111 характеризуются отличающейся геометрией и имеют эквивалентные формы с уменьшенными горизонтальными размерами D5 и увеличенным вертикальным размером D6 по сравнению с трубными звеньями 108 и 109. Значение отношения D6 к D5 обычно больше 1,0, меньше 6,0, а также больше значения отношения D4 к D3. Дополнительно трубные звенья 110 и 111 могут характеризоваться постоянным значением отношения D6 к D5 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D6 к D5 вдоль своей длины. Трубные звенья 112 и 113 характеризуются отличающейся геометрией и имеют эквивалентные формы с уменьшенными горизонтальными размерами D7 и увеличенным вертикальным размером D8 по сравнению с трубными звеньями 110 и 111. Значение отношения D8 к D7 обычно больше 1,0, меньше 6,0, а также больше значения отношения D6 к D5. Дополнительно трубные звенья 112 и 113 могут характеризоваться постоянным значением отношения D8 к D7 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D8 к D7 вдоль своей длины. Трубное звено 106 присоединено к впускному коллектору 102 косвенного теплообменника 100, и

трубное звено 113 присоединено к выпускному коллектору 104. Согласно конфигурации предпочтительного варианта осуществления трубы выполнены круглыми в области впуска со значением отношения вертикального размера к горизонтальному размеру трубного звена, равным 1,0, при этом указанные трубы постепенно становятся более плоскими со значением отношения вертикального размера к горизонтальному размеру трубного звена приблизительно 3,0 в области выпуска. Практические ограничения значений отношения горизонтального размера к вертикальному размеру составляют 1,0 для круглых труб и могут достигать 6. Согласно первому варианту осуществления следует понимать, что при увеличении значения отношения вертикального размера к горизонтальному размеру трубного звена трубные звенья становятся более плоскими и более обтекаемыми, что позволяет увеличить поток воздуха, сохраняя неизменными значения площадей внутренней и внешней поверхности. Следует понимать, что согласно первому варианту осуществления горизонтальный размер постепенно уменьшается от впуска к выпуску трубных звеньев, при этом вертикальный размер постепенно увеличивается от впуска к выпуску. Следует также понимать, что формы труб могут вначале быть круглыми и постепенно становиться еще более плоскими, как показано на чертеже, могут вначале быть плоскими и постепенно становиться еще более плоскими или вначале быть обтекаемыми и становиться еще более обтекаемыми. При использовании эллиптических форм значение отношения В/А обычно превышает 1 и относится к большой и малой осям соответственно. Следует также понимать, что первое трубное звено может иметь эллиптическую форму со значением отношения В/А близким к 1,0, при этом значение отношения В/А эллипса постепенно увеличивается от впуска к выпуску. Следует понимать, что первый вариант осуществления демонстрирует постепенно уменьшающиеся горизонтальные размеры и постепенно увеличивающиеся вертикальные размеры от первого до последнего трубного звена, при этом вариант осуществления не ограничивается начальной формой, будь то круглая, эллиптическая или обтекаемая форма. Кроме того, следует понимать, что каждые два прохода могут иметь одинаковую форму трубы, как изображено на чертеже, или вся труба может постепенно становиться более плоской или обтекаемой. Решение о том, какими должны быть контуры косвенного теплообменника, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы.

Рассмотрим фиг. 2В, на которой представлен змеевик 150 косвенного теплообмена в соответствии с первым вариантом осуществления настоящего изобретения. На фиг. 2В представлено восемь контуров и восемь проходов или рядов труб варианта осуществления 150. Косвенный теплообменник 150 характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 102 и 104 и состоит из трубных звеньев 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112 и 113. Трубные звенья 106 и 107, представленные на фиг. 2В, не являются круглыми, как представлено на фиг. 2А, вместо этого они представляют собой пару трубных звеньев, которые характеризуются начальным горизонтальным размером D1 и начальным вертикальным размером D2. Трубные звенья 108 и 109 представляют собой другую пару трубных звеньев, которые характеризуются отличающейся геометрией по сравнению с трубными звеньями пары 106 и 107, а также эквивалентными формами, имеющими меньшие горизонтальные размеры D3 и увеличенный горизонтальный размер D4 по сравнению с круглыми трубами 106 и 107. Значение отношения D4 к D3 обычно превышает 1,0 и меньше 6,0, при этом значение отношения D4 к D3 обычно превышает значение отношения D2 к D1. Кроме того, трубные звенья 108 и 109 косвенного теплообменника могут характеризоваться постоянным значением отношения D4 к D3 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D4 к D3 вдоль своей длины. Трубные звенья пары 110 и 111 характеризуются отличающейся геометрией и имеют эквивалентные формы с уменьшенными горизонтальными размерами D5 и увеличенным вертикальным размером D6 по сравнению с трубными звеньями 108 и 109. Значение отношения D6 к D5 обычно больше 1,0, меньше 6,0, а также больше значения отношения D4 к D3. Дополнительно трубные звенья 110 и 111 могут характеризоваться постоянным значением отношения D6 к D5 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D6 к D5 вдоль своей длины. Трубные звенья пары 112 и 113 характеризуются отличающейся геометрией и имеют эквивалентные формы с уменьшенными горизонтальными размерами D7 и увеличенным вертикальным размером D8 по сравнению с трубными звеньями 110 и 111. Значение отношения D8 к D7 обычно больше 1,0, меньше 6,0, а также больше значения отношения D6 к D5. Дополнительно трубные звенья 112 и 113 могут характеризоваться постоянным значением отношения D8 к D7 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D8 к D7 вдоль своей длины. Трубное звено 106 присоединено к впускному коллектору 102 косвенного теплообменника 100, и трубное звено 113 присоединено к выпускному коллектору 104. Согласно одной конфигурации трубы вначале являются приблизительно круглыми в области впуска со значением отношения вертикального размера к горизонтальному размеру трубного звена приблизительно 1,0, при этом указанные трубы постепенно становятся более плоскими со значением отношения вертикального размера к горизонтальному размеру трубного звена приблизительно 3,0 в области выпуска. Практические ограничения значений отношения горизонтального размера к вертикальному размеру составляют 1,0 для круглых труб и могут достигать 6. Во втором варианте осуществления следует понимать, что при увеличении значения отношения вертикального размера к горизонтальному размеру трубного звена трубные звенья становятся более плоскими и более обтекаемыми, что позволяет увеличить поток возду-

ха, сохраняя неизменными значения площади внутренней и внешней поверхностей. Следует понимать, что согласно второму варианту осуществления горизонтальный размер постепенно уменьшается от впуска к выпуску трубных звеньев, при этом вертикальный размер постепенно увеличивается от впуска к выпуску. Кроме того, следует понимать, что вначале формы труб могут быть слегка сплюснутыми по сравнению с первым вариантом осуществления, представленным на фиг. 2А, в котором трубы вначале имели круглую форму, а затем они постепенно становятся еще более плоскими, как представлено на чертеже, или вначале трубы будут обтекаемыми, а затем станут еще более обтекаемыми. При использовании эллиптических форм значение отношения В/А обычно превышает 1 и относится к большой и малой осям соответственно. Следует также понимать, что первое трубное звено может иметь эллиптическую форму со значением отношения В/А близким к 1,0, при этом значение отношения В/А эллипса постепенно увеличивается от впуска к выпуску. Следует понимать, что второй вариант осуществления демонстрирует постепенно уменьшающиеся горизонтальные размеры и постепенно увеличивающиеся вертикальные размеры от первого до последнего трубного звена, при этом этот вариант осуществления не ограничивается начальной формой, будь то круглая, эллиптическая или обтекаемая форма. Кроме того, следует понимать, что каждые два прохода могут иметь одинаковую форму трубы, как изображено на чертеже, или вся труба может постепенно становиться более плоской или обтекаемой. Решение о том, какими должны быть контуры косвенного теплообменника, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы.

Рассмотрим теперь фиг. 3, на которой представлен вид сбоку контура 103 из первого варианта осуществления, представленного на фиг. 2, чтобы лучше понять, как может быть сконструирован каждый контур. Кроме того, на этой фигуре также представлен разрез АА трубных звеньев 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112 и 113. Трубные звенья 106 и 107 представляют собой, по существу, круглые трубы и характеризуются эквивалентными значениями диаметра 101 труб. Трубное звено 106 характеризуется наличием закругленного U-образного колена 120, соединяющего его с трубным звеном 107. Трубное звено 107 соединено с трубным звеном 108 при помощи переходного участка 115. Переходной участок 115 вначале имеет круглую форму на одном конце, которая постепенно переходит в форму с отношением D4 к D3 на другом конце. Переходной участок 115 может быть получен прессованием, литьем с использованием матрицы или экструдированием. Альтернативно, указанный участок может представлять собой фитинг, который обычно приваривают или припаивают к трубным звеньям. Переходной участок 115 также может быть впрессован в трубу при выполнении операции изгиба змеевика. Следует отметить, что настоящее изобретение не ограничивается способом формирования переходного участка 115. Закругленные U-образные колена 120 могут быть сформированы таким образом, чтобы садиться на следующее обратное колено, в результате чего контуры в косвенном теплообменнике могут быть уплотнены, как раскрыто в документе US 6820685. U-образные колена 120 также могут быть механически сплюснены во время изгиба трубных звеньев для придания им общей формы при каждом проходе трубного звена, что будет вызывать изменение формы обратных колен по всему контуру змеевика. Предшествующее пояснение в равной степени относится к переходным участкам 115, 116 и 117. Трубные звенья 108 и 109 характеризуются наличием эквивалентных и уменьшенных горизонтальных размеров D3, а также увеличенного вертикального размера D4. Значение отношения D4 к D3 обычно превышает 1,0 и меньше 6,0. Кроме того, трубные звенья 108 и 109 змеевика могут характеризоваться постоянным значением отношения D4 к D3 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D4 к D3 вдоль своей длины. Трубные звенья 110 и 111 характеризуются наличием эквивалентных и уменьшенных горизонтальных размеров D5, а также увеличенного вертикального размера D6. Значение отношения D6 к D5 обычно больше 1,0, меньше 6,0, а также больше значения отношения D4 к D3. Дополнительно трубные звенья 110 и 111 могут характеризоваться постоянным значением отношения D6 к D5 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D6 к D5 вдоль своей длины. Трубные звенья 112 и 113 характеризуются наличием эквивалентных и уменьшенных горизонтальных размеров D7, а также увеличенного вертикального размера D8. Значение отношения D8 к D9 обычно больше 1,0, меньше 6,0, а также больше значения отношения D6 к D5. Дополнительно трубные звенья 112 и 113 могут характеризоваться постоянным значением отношения D8 к D7 вдоль своей длины, как представлено на чертеже, или равномерно увеличивающимся значением отношения D8 к D7 вдоль своей длины.

Рассмотрим фиг. 4А, на которой представлен косвенный теплообменник 200 в соответствии с третьим вариантом осуществления настоящего изобретения. Вариант осуществления 200 характеризуется наличием восьми контуров и восьми проходов или трубных звеньев. Вариант осуществления 200 характеризуется по меньшей мере одним уменьшением горизонтального размера и одним увеличением вертикального размера трубных звеньев контуров. Косвенный теплообменник 200 характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 202 и 204, соответственно, и состоит из труб змеевика, характеризующихся наличием рабочих участков 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212 и 213. Следует отметить, что трубные звенья 206, 207, 208 и 209 характеризуются эквивалентными значениями диаметра 201 трубы. Вариант осуществления 200 также характеризуется наличием трубных звеньев 210, 211, 212 и 213, каждое из которых имеет эквивалентные горизонтальные размеры D3 поперечного сечения и эквивалентные

вертикальные размеры D4 поперечного сечения. Значение отношения D4 к D3 обычно превышает 1,0 и меньше 6,0, при этом вертикальный размер D4 превышает диаметр 201 трубы, а горизонтальный размер D3 меньше диаметра 201 трубы. Согласно одной конфигурации третьего варианта осуществления значение первого отношения больше или равно 1,0 и меньше 2,0 (равно 1,0 для круглых труб), при этом значение второго отношения превышает значение первого отношения, но меньше 6,0. Следует отметить, что согласно третьему варианту осуществления, представленному на фиг. 4А, каждый рабочий участок трубы контура характеризуется по меньшей мере одним изменением геометрической формы по мере прохождения трубного звена контура от впуска к выпуску. Решение о том, сколько трубных звеньев будут иметь уменьшенные горизонтальные размеры поперечного сечения, как представлено на фиг. 6 и 7, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы, при этом настоящее изобретение не ограничивается указанным решением.

Рассмотрим фиг. 4В, на которой представлен косвенный теплообменник 250 в соответствии с четвертым вариантом осуществления настоящего изобретения. Вариант осуществления 250 характеризуется наличием восьми контуров и восьми проходов или трубных звеньев. Вариант осуществления 250 характеризуется по меньшей мере одним уменьшением горизонтального размера и увеличением вертикального размера трубных звеньев контуров. Косвенный теплообменник 250 характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 202 и 204, соответственно, и состоит из труб змеевика, характеризующихся наличием рабочих участков 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212 и 213.

Следует отметить, что, в отличие от варианта осуществления, представленного на фиг. 4А, в первых проходах или рядах которого были расположены круглые трубы, вариант осуществления 250 характеризуется наличием трубных звеньев 206, 207, 208 и 209, каждое из которых имеет эквивалентные горизонтальные размеры D1 поперечного сечения и эквивалентные вертикальные размеры D2 поперечного сечения. Значение отношения D2 к D1 обычно превышает 1,0 и меньше 6,0. Вариант осуществления 250 также характеризуется наличием трубных звеньев 210, 211, 212 и 213, каждое из которых имеет эквивалентные горизонтальные размеры D3 поперечного сечения и эквивалентные вертикальные размеры D4 поперечного сечения. Значение отношения D4 к D3 обычно превышает 1,0, меньше 6,0 и обычно превышает значение отношения D2 к D1. Согласно одной конфигурации четвертого варианта осуществления значение первого отношения (D2/D1) больше или равно 1,0 и меньше 2,0 (D2/D1 больше 1,0, как показано на чертеже), при этом значение второго отношения (D4/D3) превышает значение первого отношения, но меньше 6,0. Следует отметить, что согласно четвертому варианту осуществления, представленному на фиг. 4В, каждый рабочий участок трубы контура характеризуется по меньшей мере одним изменением геометрической формы по мере прохождения трубного звена контура от впуска к выпуску. Решение о том, сколько трубных звеньев будут иметь уменьшенные горизонтальные размеры поперечного сечения, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы, при этом настоящее изобретение не ограничивается указанным решением.

Рассмотрим теперь фиг. 5, на которой представлен косвенный теплообменник 300 в соответствии с пятым вариантом осуществления настоящего изобретения. Вариант осуществления 300 характеризуется наличием восьми контуров и восьми проходов или трубных звеньев, где каждая пара трубных звеньев имеет различный диаметр, и значения диаметра постепенно уменьшаются от впускного трубного звена 306 до выпускного трубного звена 313. Вариант осуществления 300 характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 302 и 304, соответственно, и состоит из труб змеевика, характеризующихся наличием трубных звеньев 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312 и 313. Следует отметить, что пара трубных звеньев 306 и 307 имеет диаметр D1, пара трубных звеньев 308 и 309 имеет диаметр D2 трубы, пара трубных звеньев 310 и 311 имеет диаметр D3 трубы и пара трубных звеньев 312 и 313 имеет диаметр D4 трубы. Следует отметить, что имеет место постепенное уменьшение диаметров трубных звеньев, начиная от впускного трубного звена 306 и заканчивая выпускным трубным звеном 313, при этом  $D1 > D2 > D3 > D4$ . Существует возможность того, что каждое трубное звено имеет отличающийся диаметр или может быть лишь одно изменение диаметра трубного звена в звеньях контура трубы, при этом оба этих варианта по-прежнему будут соответствовать пятому варианту осуществления. Согласно пятому варианту осуществления трубы изображены в качестве круглых труб, при этом каждая труба также может быть выполнена сплюснутой или обтекаемой для увеличения потока воздуха, и настоящее изобретение не ограничивается фактической геометрией труб. Решение о том, какое количество трубных звеньев должно иметь различный диаметр, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы. Трубные звенья различных диаметров могут быть соединены друг с другом при помощи сварки или пайки, переходной муфты, вставки трубы меньшего диаметра в трубу большего диаметра с последующей пайкой или механического соединения. Следует отметить, что настоящее изобретение не ограничивается средствами соединения трубных звеньев различных диаметров. Пятый вариант осуществления характеризуется уменьшением площади поперечного сечения и снижением площади поверхности трубы с увеличением внешнего потока воздуха.

Рассмотрим теперь фиг. 6, на которой представлен шестой вариант осуществления 450, содержащий по меньшей мере два косвенных теплообменника 400 и 500. Вариант осуществления 450 характеризуется наличием верхнего косвенного теплообменника 400, содержащего восемь контуров и четыре прохода или трубных звена, и нижнего косвенного теплообменника 500, который также содержит восемь контуров и четыре прохода или трубных звена. Верхний косвенный теплообменник 400 расположен над нижним косвенным теплообменником 500, так что всего в комбинированном косвенном теплообменнике варианта осуществления 450 имеется восемь контуров и восемь проходов или трубных звеньев. Верхний змеевик 400 косвенного теплообмена характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 402 и 404 и состоит из трубных звеньев 406, 407, 408 и 409, имеющих, по существу, круглую форму и одинаковый диаметр 465. Следует понимать, что трубные звенья 406, 407, 408 и 409 представляют собой четыре прохода и составляют один из восьми контуров змеевика 400 косвенного теплообмена, при этом трубы змеевика соединены при помощи U-образных колен, которые не показаны на этой фигуре. Нижний косвенный теплообменник 500 характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 502 и 504 и состоит из трубных звеньев 510, 511, 512 и 513. Все трубные звенья в нижнем косвенном теплообменнике 500 характеризуются одинаковым значением отношения  $D2$  к  $D1$ , которое обычно превышает 1,0 и меньше 6,0, при этом вертикальный размер  $D2$  больше диаметра 465 трубного звена верхнего косвенного теплообменника. Следует понимать, что трубные звенья 510, 511, 512 и 513 представляют собой четыре прохода и составляют один из восьми контуров косвенного теплообменника 500, при этом трубные звенья соединены при помощи U-образных колен, которые не показаны на этой фигуре. Следует также понимать, что все трубы, входящие в состав нижнего косвенного теплообменника 500, характеризуются, по существу, одинаковой сплюснутой формой и одинаковым значением отношения  $D2$  к  $D1$ . Выпускной коллектор 404 верхнего косвенного теплообменника соединен с впускным коллектором 502 нижнего косвенного теплообменника 500 при помощи соединительного трубопровода 520, как показано на чертеже. Альтернативно, впускные коллекторы 402 и 502 могут быть соединены друг с другом параллельно, при этом выпускные коллекторы 404 и 504 также могут быть соединены параллельно (не показано). Отметим, что в нижнем косвенном теплообменнике 500 могут быть использованы трубы меньшего диаметра или трубы более обтекаемой формы по сравнению с формой трубных звеньев верхнего косвенного теплообменника 400, при этом такие конфигурации по-прежнему будут соответствовать шестому варианту осуществления. Верхний косвенный теплообменник 400 показан с круглыми трубами, но, как показано на фиг. 4В, трубы в верхней секции 400 косвенного теплообмена могут вначале иметь менее плоскую форму по сравнению с формой труб в нижней секции 500 косвенного теплообмена, при этом такая конфигурация по-прежнему будет соответствовать шестому варианту осуществления. Все трубные звенья верхнего и нижнего косвенных теплообменников также могут быть эллиптическими, при этом значение отношения  $V/A$  трубных звеньев верхнего косвенного теплообменника меньше значения отношения  $V/A$  трубных звеньев нижнего косвенного теплообменника, при этом такая конфигурация по-прежнему будет соответствовать шестому варианту осуществления. Решение о том, чем геометрия верхнего косвенного теплообменника будет отличаться от геометрии нижнего косвенного теплообменника, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы.

Рассмотрим теперь фиг. 7А, 7В и 7С, на которых показаны седьмой, восьмой и девятый варианты осуществления соответственно. Для того чтобы дополнительно увеличить эффективность теплообмена шестого варианта осуществления 450, представленного на фиг. 6, седьмой вариант осуществления 550, представленный на фиг. 7А, имеет промежуток 552, разделяющий верхний косвенный теплообменник 400 и нижний косвенный теплообменник 500. Промежуток 552, высота которого превышает один дюйм, обеспечивает зону "дождя", в которой происходит дополнительное охлаждение распыляемой воды путем прямого взаимодействия между потоком воздуха и распыляемой водой, которая обычно движется вниз. Другим путем дополнительного увеличения эффективности теплообмена шестого варианта осуществления 450, представленного на фиг. 6, является добавление секции 554 для прямого теплообмена между верхней секцией 400 косвенного теплообмена и нижней секцией 500 косвенного теплообмена, как показано в восьмом варианте осуществления 560 на фиг. 7В. Добавление секции 554 для прямого теплообмена, которая имеет высоту по меньшей мере один дюйм, позволяет охлаждать распыляемую воду между секциями 400 и 500 косвенного теплообмена путем обеспечения прямого теплообмена между потоком воздуха и распыляемой водой, которая обычно движется вниз. Для обеспечения гибридного режима работы шестого варианта осуществления 450, представленного на фиг. 6, вторичную распылительную секцию 556 добавляют между верхней секцией 400 косвенного теплообмена и нижней секцией 500 косвенного теплообмена, как представлено в девятом варианте осуществления 570 на фиг. 7С. Добавление вторичной распылительной секции 556 позволяет нижнему косвенному теплообменнику 500 функционировать в режиме с распылением жидкости, при этом верхняя секция 400 косвенного теплообмена может работать без распыления жидкости, в результате чего обеспечивается экономия воды и добавляется гибридный режим работы.

Рассмотрим теперь фиг. 8, на которой представлен десятый вариант осуществления 650, содержащий по меньшей мере два косвенных теплообменника 600 и 700. Вариант осуществления 650 характери-

зается наличием верхнего косвенного теплообменника 600 с восемью контурами и четырьмя проходами или трубными звеньями. Однако отметим, что нижний косвенный теплообменник 700 имеет меньшее количество контуров по сравнению с верхней секцией 600 косвенного теплообмена. В этом случае нижняя секция 700 косвенного теплообмена характеризуется наличием шести контуров, тогда как верхняя секция 600 косвенного теплообмена характеризуется наличием восьми контуров. Верхний косвенный теплообменник 600 расположен над нижним косвенным теплообменником 700, так что всего имеется восемь трубных звеньев, при этом отметим, что уменьшение горизонтальной проекции труб достигнуто путем изменения количества контуров, что приводит к изменению геометрии труб, проецируемых в направлении потока воздуха. Благодаря различной геометрии труб верхней и нижней секций 600 и 700 косвенного теплообмена уменьшается общая площадь поперечного сечения труб, снижается общая площадь поверхности теплообмена труб, а также увеличивается внешний поток воздуха. Верхняя секция 600 косвенного теплообмена характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 602 и 604 и состоит из трубных звеньев 606, 607, 608 и 609, имеющих, по существу, круглую форму и одинаковый диаметр 665. Следует понимать, что трубные звенья 606, 607, 608 и 609 представляют собой четыре прохода и составляют один из восьми контуров секции 600 косвенного теплообмена, при этом трубные звенья соединены при помощи обратных колен, которые не показаны на этой фигуре. Нижняя секция 700 косвенного теплообмена характеризуется наличием впускного и выпускного коллекторов 702 и 704 и состоит из трубных звеньев 710, 711, 712 и 713, которые характеризуются, по существу, круглой формой и одинаковым диаметром 765, который обычно равен диаметрам 665 трубных звеньев. Следует понимать, что трубные звенья 710, 711, 712 и 713 представляют собой четыре прохода и составляют один из шести контуров косвенного теплообменника 700, при этом трубные звенья соединены при помощи обратных колен, которые не показаны на этой фигуре. Выпускной коллектор 604 верхнего косвенного теплообменника соединен с впуском 702 нижнего косвенного теплообменника 700 при помощи соединительного трубопровода 620, как показано на фигуре. Альтернативно, впускные коллекторы 602 и 702 могут быть соединены друг с другом параллельно, при этом выпускные коллекторы 604 и 704 также могут быть соединены параллельно (не показано). Отметим, что в верхней и нижней секциях 600 и 700 косвенного теплообмена может быть использована одинаковая форма труб, будь-то круглая, эллиптическая, сплюснутая или обтекаемая. Снижение количества контуров в нижней секции 700 для теплообмена представляет собой методику уменьшения геометрии горизонтально проходящих труб, чтобы увеличить поток воздуха, увеличить внутреннюю скорость текучей среды и коэффициенты внутреннего теплообмена в десятом варианте осуществления 650. Решение о том, какие геометрии следует использовать и какова будет разница в количестве контуров между верхней и нижней секциями косвенного теплообменника, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления внутри трубы. На фиг. 7А, 7В и 7С показаны способы дополнительного повышения эффективности теплообмена шестого варианта осуществления, который содержал две секции косвенного теплообменника, причем эти способы могут быть использованы в отношении десятого варианта осуществления, где верхний косвенный теплообменник 600 и нижний косвенный теплообменник 700 могут быть разделены путем выполнения промежутка более одного дюйма, как показано на фиг. 7А, или путем добавления секции для прямого теплообмена, как показано на фиг. 7В. Для того чтобы десятый вариант осуществления мог работать в гибридном режиме, вторичная распылительная секция может быть добавлена между двумя косвенными теплообменниками 600 и 700, как показано на фиг. 7С.

Рассмотрим теперь фиг. 9, на которой представлен одиннадцатый вариант осуществления 770 в качестве воздушного конденсатора пара. Паровой коллектор 772 обеспечивает подачу пара в трубные звенья 774. Трубные звенья 774 присоединены к паровому коллектору 772 и коллекторам 779 для сбора конденсата при помощи различных методик, включая сварку и печную пайку, при этом настоящее изобретение не ограничивается упомянутыми выше методиками. Волнообразные ребра 804 присоединены к трубным звеньям 774 при помощи различных методик, таких как сварка или печная пайка, при этом настоящее изобретение не ограничивается упомянутыми выше методиками. Волнообразные ребра 804 служат для отведения тепла от трубки и передачи его протекающему рядом потоку воздуха. Водный конденсат, образующийся при конденсации пара в трубных звеньях 774, собирается в коллекторах 779 для сбора конденсата. Электродвигатель 776 вентилятора обеспечивает вращение вентилятора 777 для нагнетания воздуха через волнообразные ребра 804 конденсатора пара. Платформа 775 для установки вентилятора не пропускает воздух, покидающий вентилятор 777, вынуждая его выходить через волнообразные ребра 804. Существует множество параллельных контуров 774 трубных звеньев, и чтобы продемонстрировать особенности изменения геометрии трубных звеньев 774 и волнообразных ребер 804, два контура, показанные пунктирными линиями 800, представлены на фиг. 10А, 10В и 10С для большей наглядности.

Рассмотрим теперь фиг. 10А, 10В и 10С, на которых представлены частичные виды одиннадцатого варианта осуществления 770, представленного на фиг. 9, при этом на фиг. 10А представлен частичный вид трубных звеньев 774, изображенных на фиг. 9. Следует понимать, что трубные звенья 774 не имеют обратных колен, а представляют собой одно удлиненное трубное звено. Длина трубных звеньев обычно составляет от нескольких футов до ста футов, при этом настоящее изобретение не ограничивается упо-

мянутым выше диапазоном. Показаны лишь два контура 774 трубных звеньев из множества (нескольких сотен) повторяющихся параллельных трубных звеньев 774 с волнообразными ребрами 804. Волнообразные ребра 804 обычно установлены с каждой стороны трубного звена 802 и служат для увеличения теплообмена с воздухом, нагнетаемым через волнообразные ребра 804, чтобы вызвать конденсацию пара внутри трубных звеньев 774. Трубные звенья 774 характеризуются круглым проходным сечением в верхней части (имеющей максимальную площадь проходного сечения в области подачи пара) с диаметром 865, как показано на фиг. 10С. Если смотреть сверху вниз, трубное звено 774 постепенно становится более плоским, в результате чего горизонтальный размер D5 поперечного сечения будет меньше диаметра 865, и значение отношения D6 к D5 обычно превышает 1 и меньше 6. Если исходить из некруглой формы, например, в случае микроканалов, значение отношения может быть увеличено до 20,0. Ключевым аспектом этого варианта осуществления является изменение геометрической формы от верхней части к нижней части, при этом может быть использована любая форма, которая является более обтекаемой вблизи нижней части, чем вблизи верхней части, и такая форма не ограничена сплюснутой формой. Расстояние между трубными звеньями 774 может быть обозначено позицией 838 в верхней части и позицией 840 в нижней части, при этом расстояние в нижней части больше расстояния в верхней части. Ширина волнообразных ребер 804 обозначена позицией 850 в верхней части и позицией 852 в нижней части, при этом ширина в нижней части больше ширины в верхней части. Это постепенное расширение волнообразного ребра 804 обеспечивает большую площадь взаимодействия с трубой при движении от верхней части к нижней части и большую площадь ребристой поверхности при прохождении от верхней части к нижней части, что увеличивает общий теплообмен с трубным звеном 774. Рассмотрим фиг. 10С, на которой волнообразное ребро 804 было удалено из соображений ясности, благодаря чему хорошо видно, что трубное звено 774 имеет форму круга с диаметром 865 в верхней части и сплюснутую форму с шириной D5 и длиной D6 в нижней части. Как отмечено при рассмотрении других вариантов осуществления, постепенное сплющивание может быть выполнено в виде ступеней, которые равномерно становятся более плоскими каждые несколько футов, или трубные звенья могут характеризоваться постепенно увеличивающимся отношением длины к ширине (показано как отношение D6 к D5 в нижней части) на всем своем протяжении, как изображено на фиг. 10С. Одиннадцатому варианту осуществления, представленному на фиг. 10, присущи многочисленные преимущества по сравнению с известными из уровня техники решениями. Первое преимущество заключается в том, что площадь проходного сечения является максимальной в верхней части, где конденсируемый пар входит в трубу. Это позволяет поступающему потоку газа низкой плотности протекать с более высоким расходом и более низким перепадом давления. После того как произойдет конденсация паров, необходимость в большой площади проходного сечения снижается, так как в канале имеется более плотная текучая среда, содержащая пар и конденсат, при этом изменение геометрии обеспечивает оптимальное использование площади поверхности теплообмена. Дополнительно площади внешней и внутренней поверхностей являются одинаковыми в верхней и нижней частях каждого трубного звена, тогда как горизонтальный размер поперечного сечения постепенно уменьшается, при этом обеспечивается протекание большого количества воздуха при постепенном сплющивании трубного звена. Кроме того, уменьшение горизонтального размера поперечного сечения относительно воздушного канала увеличивает внутреннюю скорость текучей среды и повышает коэффициенты внутреннего теплообмена, обеспечивая при этом протекание большего количества внешнего воздуха, что позволяет конденсировать большее количество пара. Другое преимущество заключается в том, что, поскольку трубное звено является сплюснутым, длина и ширина волнообразного ребра могут быть увеличены (если необходимо), при этом область взаимодействия ребра с трубой увеличивается при прохождении ребра от верхушки к нижней части трубного звена, что увеличивает теплообмен с трубой.

Рассмотрим теперь фиг. 11, на которой представлены вид сзади и трехмерный вид двенадцатого варианта осуществления настоящего изобретения, который обозначен позицией 950. Секция 950 косвенного теплообмена состоит из пластин 952 косвенного теплообмена, при этом в башенном охладителе с замкнутым контуром или испарительном конденсаторе испарительную воду распыляют на внешнюю сторону пластин и поток воздуха направляют на внешнюю сторону пластин для косвенного охлаждения или конденсации внутренней текучей среды. Впускной пластинчатый коллектор 951 обеспечивает введение текучей среды вовнутрь пластин, и выпускной коллектор 953 обеспечивает выпуск текучей среды, находящейся внутри пластин, обратно в процесс. Отметим, что верхнее расстояние 954 между осевыми линиями и нижнее расстояние 954 между осевыми линиями пластин являются равномерными и, по существу, одинаковыми, тогда как просвет 956 между внешними сторонами пластин преднамеренно выполнен меньше просвета 957. Таким образом, пластины характеризуются сужающейся формой с уменьшением толщины от впускного конца к выпускному концу. Это изменение геометрии пластины обеспечивает многие из тех преимуществ, которые присущи остальным вариантам осуществления. Согласно двенадцатому варианту осуществления 950 предусмотрена, по существу, одинаковая площадь поверхности теплообмена, постепенное уменьшение площади проходного сечения от впуска (верхней части) к выпуску (нижней части) и постепенное увеличение просвета между пластинами, начиная от минимального просвета 956 в верхней части и заканчивая максимальным просветом 957 в нижней части, что обеспечивает увеличение потока воздуха, повышает внутреннюю скорость текучей среды и повышает коэффициенты

внутреннего теплообмена при перемещении текучей среды сверху вниз. Решение о том, какие геометрии следует использовать и каким будет постепенно увеличивающийся просвет между верхней и нижней секциями пластинчатого косвенного теплообменника, обусловлено балансом между величиной желаемого увеличения потока воздуха, сложностью производства и допустимым перепадом давления на внутренней поверхности пластины.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Косвенный теплообменник, содержащий множество контуров змеевиков, впускной коллектор, соединенный с впускным концом каждого контура змеевика, и выпускной коллектор, соединенный с выпускным концом каждого контура змеевика, при этом каждый контур змеевика содержит трубу контура, которая проходит в виде группы рабочих участков и обратных колен от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика, каждый рабочий участок трубы контура характеризуется уменьшением горизонтального размера поперечного сечения и увеличением вертикального размера поперечного сечения по мере своего прохождения от области поблизости впускного конца каждого контура змеевика к области поблизости выпускного конца каждого контура змеевика; при этом площадь поперечного сечения каждой трубы контура уменьшается от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика.
2. Косвенный теплообменник по п.1, в котором поблизости впускного конца каждого рабочего участка трубы контура к горизонтальному размеру поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура и поблизости выпускного конца каждого контура змеевика имеет место второе отношение вертикального размера поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура к горизонтальному размеру поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура, при этом значение второго отношения превышает значение первого отношения.
3. Косвенный теплообменник по п.2, в котором значение первого отношения составляет от 1,0 до 2,0 и значение второго отношения превышает значение первого отношения и составляет не более 6,0.
4. Косвенный теплообменник по п.1, в котором каждая труба контура изготовлена из оцинкованной стали, нержавеющей стали, алюминия или меди.
5. Косвенный теплообменник по п.1, в котором каждый рабочий участок трубы контура характеризуется постепенным уменьшением горизонтального размера поперечного сечения и постепенным увеличением вертикального размера поперечного сечения по мере прохождения каждой трубы контура от области поблизости впускного конца каждого контура змеевика к области поблизости выпускного конца каждого контура змеевика.
6. Косвенный теплообменник по п.1, в котором каждая труба контура состоит из группы рабочих участков и обратных колен, проходящих от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика, и каждый индивидуальный рабочий участок трубы контура характеризуется постоянным горизонтальным размером поперечного сечения и постоянным вертикальным размером поперечного сечения между обратными коленами, при этом горизонтальный размер поперечного сечения рабочих участков трубы контура уменьшается ближе к выпускному концу каждой трубы контура и вертикальный размер поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура увеличивается ближе к выпускному концу каждого контура змеевика.
7. Косвенный теплообменник по п.1, в котором каждое обратное колено контура трубы характеризуется круглым поперечным сечением.
8. Косвенный теплообменник по п.1, в котором каждый рабочий участок трубы контура в области впускного конца каждого контура змеевика при соединении с впускным коллектором характеризуется круглым поперечным сечением.
9. Косвенный теплообменник, содержащий множество контуров змеевиков, впускной коллектор, соединенный с впускным концом каждого контура змеевика, и выпускной коллектор, соединенный с выпускным концом каждого контура змеевика, при этом каждый контур змеевика содержит трубу контура, которая проходит в виде группы рабочих участков и обратных колен от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика, каждый рабочий участок трубы контура характеризуется заданным горизонтальным размером поперечного сечения на протяжении всей своей длины, причем горизонтальный размер поперечного сечения всех рабочих участков контура трубы уменьшается по мере прохождения труб контуров от области поблизости впускного конца каждого контура

змеевика до области поблизости выпускного конца каждого контура змеевика;

при этом площадь поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура уменьшается от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика.

10. Косвенный теплообменник по п.9, в котором поблизости впускного конца каждого контура змеевика имеет место первое отношение вертикального размера поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура к горизонтальному размеру поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура и поблизости выпускного конца каждого контура змеевика имеет место второе отношение вертикального размера поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура к горизонтальному размеру поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура, при этом значение второго отношения превышает значение первого отношения.

11. Косвенный теплообменник по п.10, в котором значение первого отношения составляет от 1,0 до 2,0 и значение второго отношения превышает значение первого отношения и составляет не более 6,0.

12. Косвенный теплообменник по п.9, в котором каждая труба контура изготовлена из оцинкованной стали, нержавеющей стали, алюминия или меди.

13. Косвенный теплообменник по п.9, в котором каждый рабочий участок трубы контура характеризуется постепенным уменьшением горизонтального размера поперечного сечения и постепенным увеличением вертикального размера поперечного сечения по мере своего прохождения от области поблизости впускного конца каждого контура змеевика к области поблизости выпускного конца каждого контура змеевика.

14. Косвенный теплообменник по п.9, в котором каждая труба контура состоит из группы рабочих участков и обратных колен, проходящих от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика, и

каждый индивидуальный рабочий участок трубы контура характеризуется постоянным горизонтальным размером поперечного сечения и постоянным вертикальным размером поперечного сечения между обратными коленами, при этом горизонтальный размер поперечного сечения каждого рабочего участка уменьшается ближе к выпускному концу каждой трубы контура и вертикальный размер поперечного сечения каждого рабочего участка увеличивается ближе к выпускному концу каждого контура змеевика.

15. Косвенный теплообменник по п.9, в котором каждая труба контура состоит из группы рабочих участков и обратных колен, проходящих от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика, при этом каждое обратное колено контура трубы характеризуется круглым поперечным сечением.

16. Косвенный теплообменник, содержащий

множество контуров змеевиков,

впускной коллектор, соединенный с впускным концом каждого контура змеевика, и выпускной коллектор, соединенный с выпускным концом каждого контура змеевика,

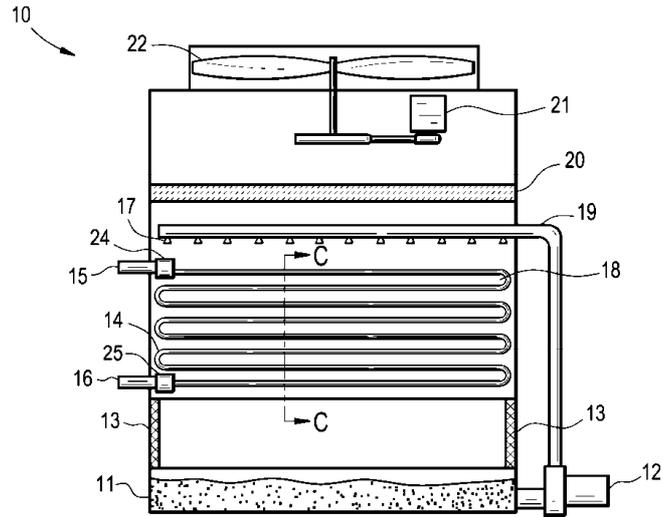
при этом каждый контур змеевика содержит трубу контура, которая проходит в виде группы рабочих участков и обратных колен от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика,

каждый рабочий участок трубы контура характеризуется горизонтальным размером поперечного сечения в области впускного конца каждого контура змеевика и вертикальным размером поперечного сечения в области выпускного конца каждого контура змеевика,

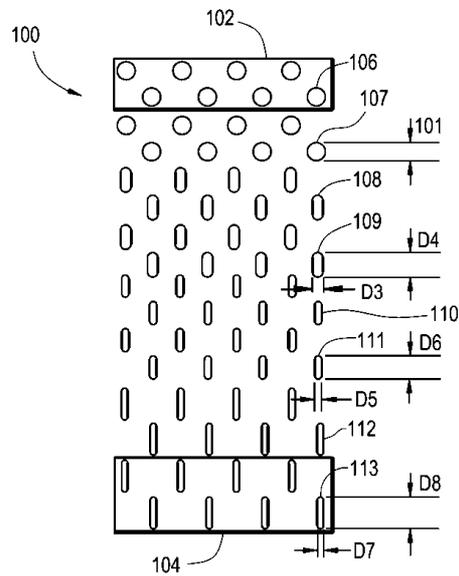
каждый рабочий участок трубы контура характеризуется уменьшением горизонтального размера поперечного сечения и увеличением вертикального размера поперечного сечения по мере своего прохождения от области поблизости впускного конца каждого контура змеевика к области поблизости выпускного конца каждого контура змеевика;

при этом площадь поперечного сечения каждой трубы контура уменьшается от впускного конца каждого контура змеевика к выпускному концу каждого контура змеевика.

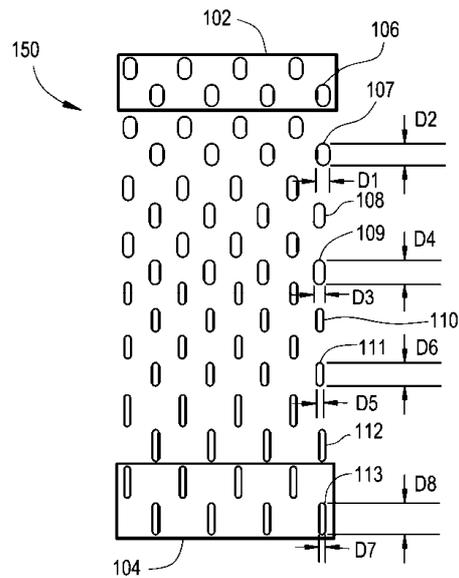
17. Косвенный теплообменник по п.16, в котором поблизости впускного конца каждого контура змеевика существует первое отношение вертикального размера поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура к горизонтальному размеру поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура и поблизости выпускного конца каждого контура змеевика существует второе отношение вертикального размера поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура к горизонтальному размеру поперечного сечения каждого рабочего участка трубы контура, при этом значение второго отношения превышает значение первого отношения.



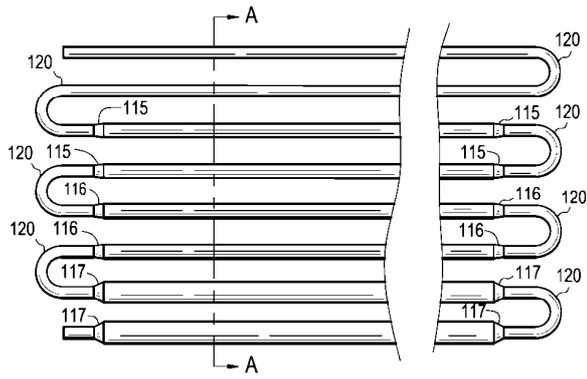
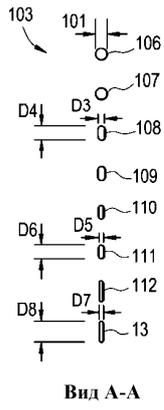
Фиг. 1



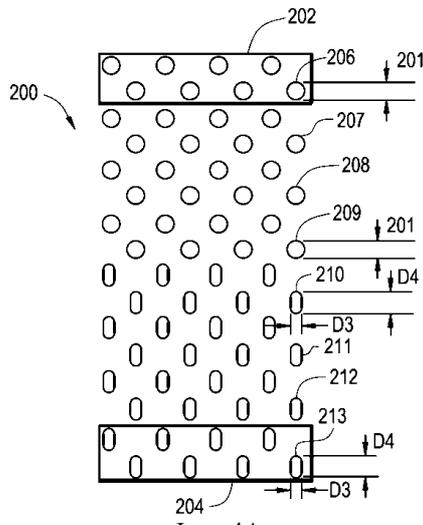
Фиг. 2А



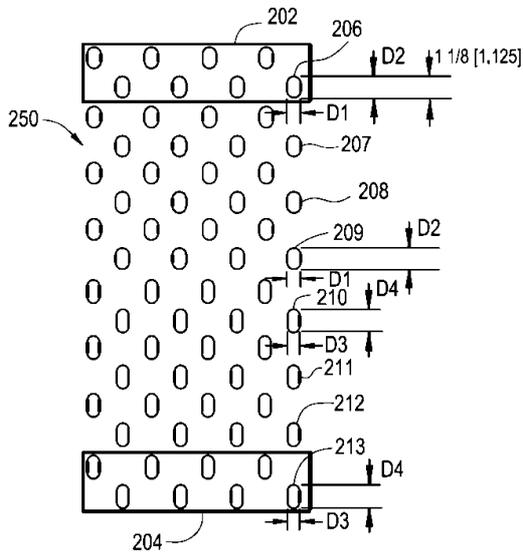
Фиг. 2В



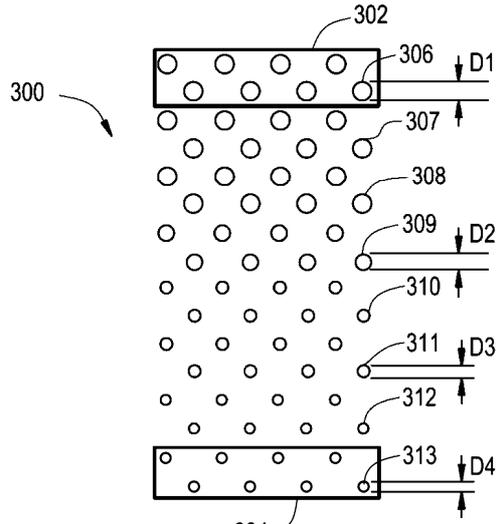
Фиг. 3



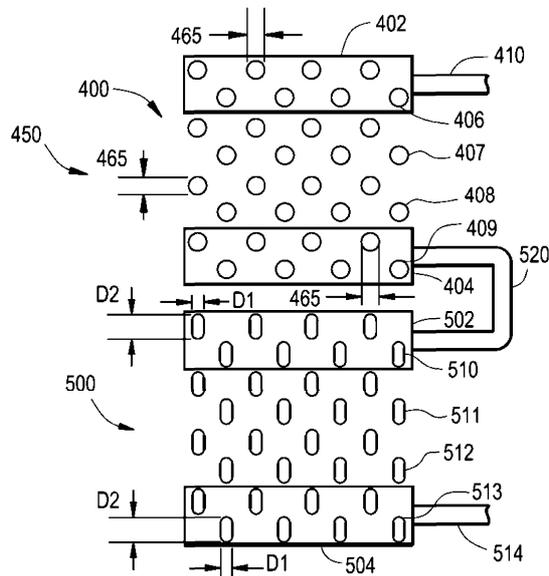
Фиг. 4А



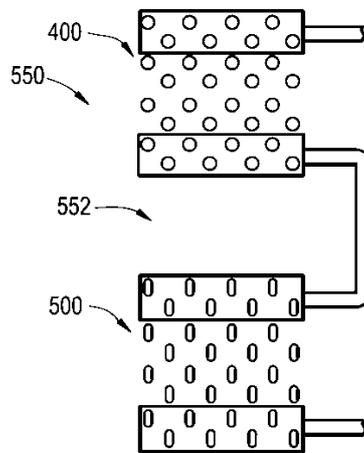
Фиг. 4В



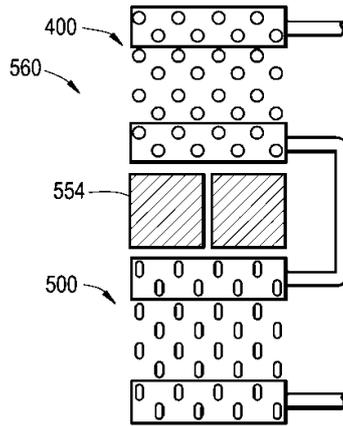
Фиг. 5



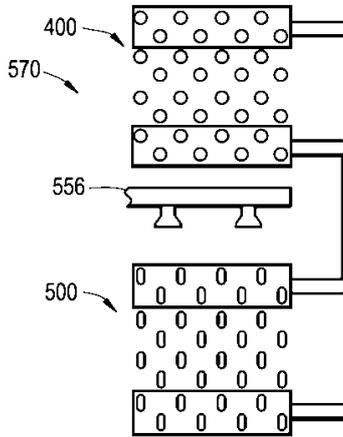
Фиг. 6



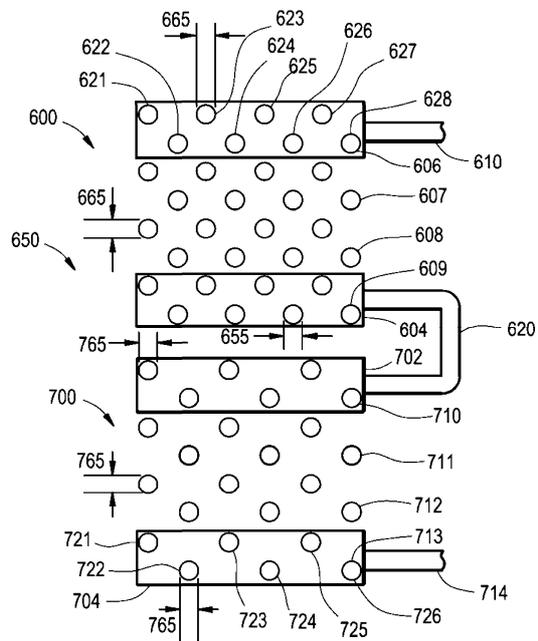
Фиг. 7А



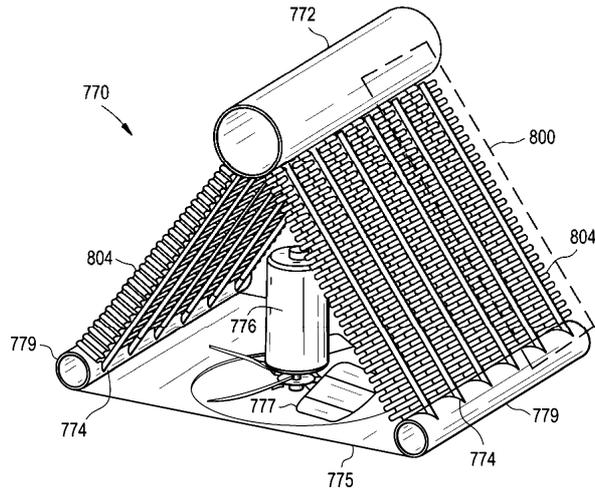
Фиг. 7В



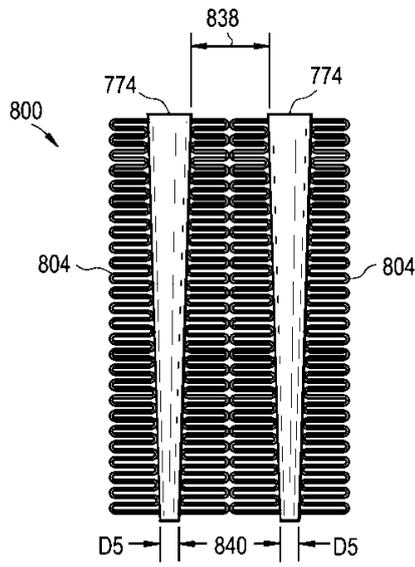
Фиг. 7С



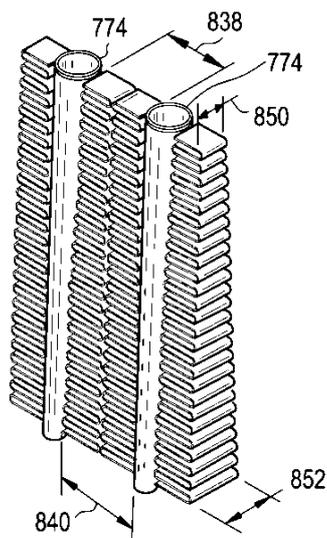
Фиг. 8



Фиг. 9

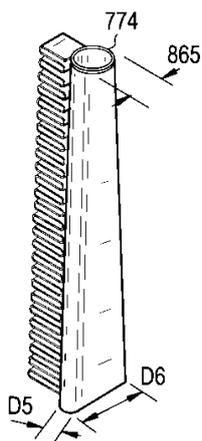


Фиг. 10А

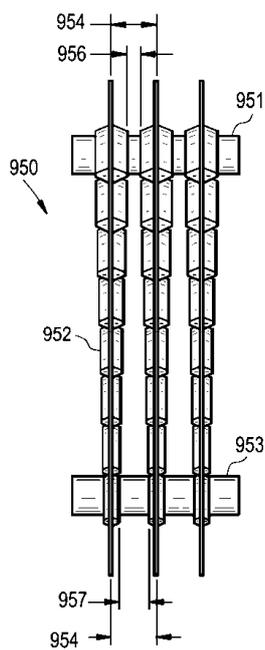


Фиг. 10В

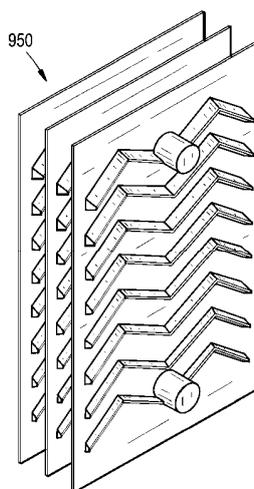
033570



Фиг. 10С



Фиг. 11А



Фиг. 11В