

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 8132

(13) U

(46) 2012.04.30

(51) МПК

F 28F 1/24 (2006.01)

F 28F 9/00 (2006.01)

(54)

ТЕПЛОУЛОВИТЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 20110766

(22) 2011.10.06

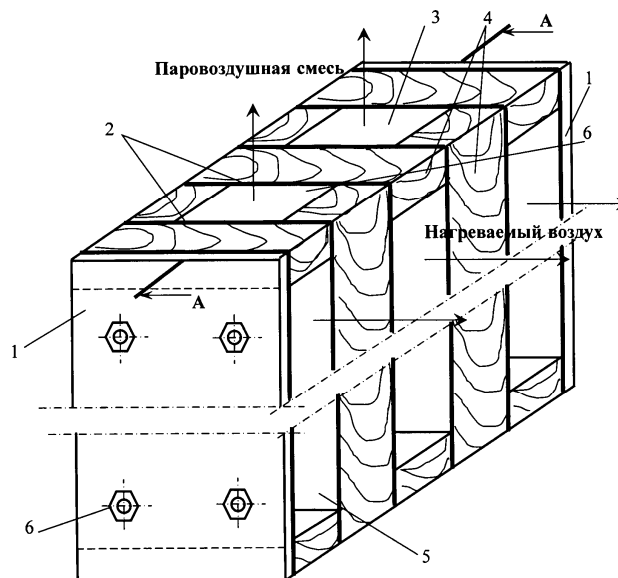
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный техно-
логический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисо-
вич; Дударев Владимир Владимиро-
вич; Володин Виктор Иванович; Кун-
тыш Владимир Эрнестович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
технологический университет" (ВУ)

(57)

Теплоуловитель, содержащий гладкие боковые листы, тонкие металлические листы с установленными по их краям деревянными брусками, вокруг которых листы соединены на фалец между собой с образованием чередующихся вертикальных и горизонтальных прямых каналов прямоугольного поперечного сечения с шириной, равной длине дистанционных трубок, надетых на стяжные болты, отличающийся тем, что с одной боковой стороны каждого тонкого металлического листа нанесены в шахматном порядке полусферические лунки такой глубины, при которой на противоположной боковой стороне этого листа под лунками возникнут выступы удобообтекаемой формы высотой, не меньшей толщины пограничного слоя нагреваемого воздуха, движущегося вдоль этой стороны, при этом плотность лунок не должна превышать 70 % и на каждой паре смежных листов, образующих каналы для движения паровоздушной смеси, лунки одного листа зеркально обращены к лункам соседнего листа.



Фиг. 1

ВУ 8132 U 2012.04.30

(56)

1. Бельский А.П., Лотвинов М.Д. Вентиляция бумагоделательных машин. - М.: Лесная промышленность, 1990. - С.20-51, 129-142.

2. Левитан Б.М. Вентиляция на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. - М.: Лесная промышленность, 1972. - С. 98-100.

3. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. - М. - Л.: Энергия, 1966. - С. 148-149.

4. Теплоуловители из профильных листов. ВДНХ СССР. - М.: ВНИПИЭИлеспром, 1976. - 4 с.

5. Мовсесян В.Л., Мурзич А.Ф., Иванов А.П. Профильно-пластинчатые теплообменники. - СПб.: Изд-во РИД, 2002. - С. 270-280.

6. Динцин В.А., Розенштейн И.Л.. Утилизация тепловой энергии удаляемого воздуха в системах кондиционирования воздуха и вентиляции: Обзорная информация. - М.: ЦНИИТЭ-строймаш, 1985. - С. 6-16.

7. Антуфьев В.М., Гусев Е.К., Ивахненко В.В., Кузнецов Е.Ф., Ламм Ю.А. Теплообменные аппараты из профильных листов. - Л.: Энергия, 1972. - С. 91 (прототип).

8. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. - Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2005. - С. 327-361, 441-454.

Полезная модель относится к поверхностным рекуперативным газо-газовым теплообменникам, а более конкретно к теплоуловителям теплорекуперационных агрегатов (ТРА) систем технологической вентиляции бумаго- и картоноделательных машин [1] и цехов с их установкой, а также может быть применена в системах вентиляции и кондиционирования воздуха промышленных зданий, общественных и зрелищных сооружений для утилизации тепла газовых выбросов.

Теплоуловитель осуществляет утилизацию тепла паровоздушной смеси (ПВС), отходящей из-под укрытия (колпаков) сушильной части машины вследствие нагрева вентиляционного и сушильного воздуха.

Известна конструкция гладкотрубного [2] теплоуловителя, состоящего из алюминиевых труб наружного диаметра $d = 38$ мм с толщиной стенки $\delta = 1$ мм. Трубы расположены в трубных решетках коридорно с поперечным шагом $S_1 = 60$ мм и продольным $S_2 = 60$ мм. Относительные шаги разбивки труб $\sigma_1 = S_1/d = 1,58$ и $\sigma_2 = S_2/d = 1,58$. Компактность трубного пучка $\Pi = \frac{F}{V} = \frac{\pi d}{S_1 S_2}$ равна $33 \text{ м}^2/\text{м}^3$, где F - площадь наружной поверхности трубы, м^2 ; V - конструктивный объем пучка, в котором заключена поверхность F , м^3 .

Приточный нагреваемый воздух движется горизонтально в межтрубном пространстве пучка, обтекая трубы снаружи однократным током, а ПВС движется вертикально снизу вверх внутри труб.

Достоинства теплоуловителя: небольшое аэродинамическое сопротивление по воздушной стороне, низкая загрязняемость внутренней поверхности труб волокнами бумажной массы, увлекаемых удаляемой ПВС, вследствие постоянного смыва их стекающим по стенкам конденсатом, появившимся из-за конденсации водяного пара ПВС.

Невысокий коэффициент теплопередачи, присущий газо-газовым теплообменникам, в сочетании с малой компактностью обусловили исключительную громоздкость и металлоемкость теплоуловителя, трудности в размещении его в существующих строительных ограждениях сушильной части машины. Теплоуловителю также свойственна пониженная энергетическая эффективность. При улучшении габаритных и энергетических характеристик применением меньшего диаметра труб появилась повышенная загрязняемость их,

снизилась эксплуатационная надежность, увеличилась стоимость теплоуловителя, возросли потери давления ПВС и мощность вытяжного вентилятора.

В модернизированном гладкотрубном теплоуловителе применена шахматная компоновка труб с шагами $S_1 = 50$ мм ($\sigma_1 = 1,32$) и $S_2 = 44$ мм ($\sigma_2 = 1,16$). Коэффициент компактности возрос до $\Pi = 54,2$ м²/м³. Принятые конструктивные решения незначительно улучшили габаритно-массовые и энергетические характеристики (на 10÷15 %), однако отмеченные принципиальные недостатки не устранены.

Недостатки трубчатых теплоуловителей устранены в теплоуловителях из профильных листов [3, 4], энергетическая эффективность которых в 1,9÷2,5 раза больше, а объем, занимаемый поверхностью теплопередачи, в 3,5 раза меньше объема для трубчатых теплоуловителей. Степень регенерации тепла ПВС повышается в 1,1÷1,15 раза. Толщина профильных листов $\delta = 1$ мм. Приточный воздух направляется в горизонтальные волнообразные каналы однократным током, а ПВС движется снизу вверх вертикально по двухугольным каналам. Теплоуловитель имеет высокую компактность ($\Pi \approx 120\div 130$ м²/м³), малые габариты и металлоемкость. Он экономичнее трубчатых теплоуловителей. Однако при эксплуатации выявились ощутимая загрязняемость двухугольных каналов и сложность их очистки [5]. Для сохранения достигнутых в этой конструкции высоких энерго-массовых характеристик и поддержания их устойчивости при длительной эксплуатации потребовалась установка перед входом ПВС в теплоуловитель очистного устройства, что повысило сопротивление и затраты электроэнергии на привод вытяжного вентилятора. Это понизило экономическую эффективность, усложнило эксплуатацию и препятствует их широкому применению в ТРА бумаго- и картоноделательных машин.

Ближайшим аналогом полезной модели является гладкопластинчатый рекуперативный перекрестноточный теплоутилизатор [6] для нагрева приточного воздуха удаляемым теплым воздухом из вентилируемых зданий и сооружений. Пластины тонкие, изготавливаются из алюминия или нержавеющей стали. Расстояние в свету между пластинами составляет 4 или 8 мм. Движение воздушного потока происходит в прямых каналах прямоугольного поперечного сечения. Основные недостатки - низкие значения коэффициента теплопередачи; громоздкость; небольшая ширина канала, которая не позволяет обеспечить рекомендуемые значения скорости ПВС, соответствующие допустимой величине потери давления. Все это препятствует применению их в ТРА целлюлозно-бумажной промышленности.

Широко известна конструкция теплоуловителя [7], принятого нами за прототип, применяемого и в настоящее время в системах технологической вентиляции сушильной части бумаго- и картоноделательных машин и цехов их эксплуатации. Он состоит из гладких алюминиевых листов размерами 2x1 м, толщиной $\delta = 0,7\div 0,8$ мм. По краям листов установлены бруски из древесины, вокруг которых листы соединяются между собой на фалец так, чтобы образовались чередующиеся вертикальные и горизонтальные каналы шириной 16÷20 мм, не сообщающиеся между собой. По вертикальным каналам снизу вверх движется ПВС, а по горизонтальным - нагреваемый приточный воздух. Наружные боковые листы выполняются из листового алюминия толщиной 1,5÷2 мм. Алюминиевые листы стягиваются между собой болтами. Для получения определенной ширины канала (расстояние между листами в свету) на болты надеваются дистанционные алюминиевые трубки 20x3 мм длиной, равной ширине канала. Коэффициент компактности пластинчатых теплоуловителей из гладких листов составляет 80 м²/м³.

В случае удаления ПВС от сушильных машин, вырабатывающих вискозную целлюлозу, когда бумажная масса имеет значение показателя кислотности $pH \leq 4$, теплоуловитель изготавливают из нержавеющей стали с толщиной листов $\delta = 0,3\div 0,6$ мм. Беспрепятственный сток конденсата из ПВС обеспечивается при ее вертикальном движении, что и определяет принятое направление движения смеси в теплоуловителе.

Достоинствами прототипа являются малое аэродинамическое сопротивление движению газовых потоков, реализация рекомендуемых значений скорости ПВС, простота конструкции. Габаритная характеристика теплоуловителя практически равноценна таковой наилучшего трубчатого теплоуловителя с шахматной компоновкой поверхности теплообмена.

Недостатки прототипа - невысокие значения коэффициента теплоотдачи по сторонам приточного воздуха и ПВС вследствие обтекания поверхности теплообмена (гладких листов) безотрывным потоком, малый коэффициент теплопередачи, низкая энергетическая эффективность.

Задача полезной модели - повышение энергетической эффективности, уменьшение габаритов и металлоемкости теплоуловителя применением вихревой интенсификации теплоотдачи газовых потоков, движущихся в каналах.

Поставленная задача достигается в теплоуловителе, содержащем гладкие боковые листы, тонкие металлические листы с установленными по их краям деревянными брусками, вокруг которых листы соединены на фалец между собой с образованием чередующихся вертикальных и горизонтальных прямых каналов прямоугольного поперечного сечения с шириной, равной длине дистанционных трубок, надетых на стяжные болты, отличающемся тем, что с одной боковой стороны каждого тонкого металлического листа нанесены в вершинах ромбов полусферические лунки такой глубины, при которой на противоположной боковой стороне этого листа под лунками возникнут выступы удобообтекаемой формы высотой, не меньшей толщины пограничного слоя нагреваемого воздуха, движущегося вдоль этой стороны, при этом плотность лунок не должна превышать 70 % и на каждой паре смежных листов, образующих каналы для движения паровоздушной смеси, лунки одного листа зеркально обращены к лункам соседнего листа.

Существенными отличиями предлагаемого теплоуловителя по сравнению с прототипом являются следующие.

Тонкие металлические листы толщиной $\delta = 0,5 \div 0,8$ мм, являющиеся поверхностью теплопередачи теплоуловителя, имеют на одной боковой поверхности листа полусферические лунки, иногда называемые углублениями, выемками, расположенные в вершинах ромбов. Лунки являются источниками образования смерчеобразных вихрей [8], представляющих эффективный способ вихревой интенсификации теплоотдачи, при котором в оптимальной области параметров лунки и режима движения потока в канале рост теплоотдачи пропорционален или даже превышает увеличение аэродинамического сопротивления в сравнении с этими характеристиками для гладкой поверхности листа. В количественном отношении эти эффекты достигают порядка 1,8÷4,5 раза. При вихревой интенсификации теплоотдачи наблюдается нарушение известной аналогии Рейнольдса в пользу теплоотдачи, что энергетически благоприятно при разработке высокоэффективных конвективных поверхностей теплообмена.

Образование лунок на тонком листе сопровождается появлением под каждой из них, на противоположной стороне листа, удобообтекаемых, плавно очерченной формы выступов высотой больше толщины пограничного слоя потока, формирующегося на данной поверхности листа. Это достигается при соответствующей глубине лунки. Выступы турбулизируют пограничный слой потока его разрушением и обновлением и интенсифицируют теплоотдачу с этой стороны листа. Одновременно возрастает и сопротивление движению потока, но технически обоснованным выбором геометрических параметров выступов и особенно их формы [3], как элементов непределенной (рассредоточенной) шероховатости, можно достичь благоприятного соотношения между ростом теплоотдачи и аэродинамического сопротивления. Следовательно, лист обладает двухсторонней интенсификацией теплоотдачи, что удовлетворяет основному требованию при энергетическом совершенствовании и снижению габаритно-массовых характеристик газо-газовых теплообменников, типичным представителем которых является теплоуловитель. В таких тепло-

обменниках, как правило, коэффициенты теплоотдачи по обеим сторонам поверхности теплопередачи приблизительно одинаковы. Чтобы добиться ощутимого энергетического улучшения, снижения габаритов и массы аппарата, необходимо применять поверхности с двухсторонней интенсификацией теплоотдачи, что реализовано в предлагаемой полезной модели. При одинаковой величине суммарной затраты мощности на прокачку через теплоуловитель ПВС и приточного воздуха коэффициент теплопередачи возрастает в $1,25 \div 1,75$ раза. Габариты и масса теплоуловителя уменьшаются в прямой пропорции к этой величине.

Многочисленные исследования вихревой интенсификации теплоотдачи, обзор которых можно найти в [8], показывают, что характер расположения лунок (выемок) на плоской поверхности (шахматное, коридорное, смешанное) слабо влияет на величину эффекта интенсификации. Возникающие в лунке вихри небольших размеров не переносятся в направлении, поперечном движению потока, а следовательно, не вступают во взаимодействие с вихрями соседней лунки, расположенной на расстоянии поперечного шага S_1 . Значит, шаг S_1 не является доминирующим в эффекте интенсификации теплоотдачи. Совершенно по-иному проявляется влияние продольного (по направлению движения потока) шага S_2 расположения лунок. Вихри из лунки сбегают в направлении движения потока, диффундируя в его пристенный слой, нарушают структуру слоя в направлении уменьшения термического сопротивления, что существенно увеличивает локальные коэффициенты теплоотдачи на гладких участках поверхности листа между лунками, размер которых (длина) зависит от шага S_2 . Исходя из этого, следует назначать значение $S_2 > S_1$. Решающее влияние на интенсификацию и достижение наибольшей энергетической эффективности оказывает плотность расположения лунок, которая не должна превышать 70 %. В противном случае будет превалировать рост аэродинамического сопротивления над приростом теплоотдачи. Под плотностью понимают отношение площади поверхности, занятой лунками, к общей площади поверхности листа.

При сложении двух листов на расстоянии, равном ширине канала, так, чтобы было зеркальное отображение лунок, возникают благоприятные гидродинамические условия по всему сечению канала для интенсификации теплоотдачи потока ПВС наряду с существующими уже в пристенном слое. Но именно при таком расположении листов с ромбическим расположением лунок возникшие под ними выступы как элементы шероховатости на плоской поверхности листа будут создавать наибольшую турбулизацию, разрушение и обновление пограничного слоя нагреваемого приточного воздуха, движущегося в смежных с ПВС каналах, перекрестным током. При этом характере движения воздуха расположение выступов по направлению к движению будет шахматное, обеспечивающее наибольший энергетический эффект [3] интенсификации теплоотдачи воздуха. Предложенный тип расположения лунок на боковой поверхности листа в сочетании с предложенной компоновкой листов в теплоуловителе обеспечивают достижение наибольшей тепловой эффективности как по стороне ПВС, так и по стороне воздуха, реализуются энергетически эффективные способы интенсификации теплоотдачи.

Таким образом, в заявленной конструкции теплоуловителя полностью решена сформулированная задача.

Полезная модель поясняется фиг. 1-6. На фиг. 1 изображен общий вид теплоуловителя в аксонометрии; на фиг. 2 - продольный разрез теплоуловителя; на фиг. 3 дан вид сверху теплоуловителя; на фиг. 4 изображен фрагмент компоновки теплообменных листов с лунками, бокового листа и стяжного болта; на фиг. 5 представлен теплообменный "олуненный" металлический лист (вид спереди), а на фиг. 6 - то же, поперечный разрез.

Теплоуловитель состоит из двух боковых гладких листов 1, теплообменных тонких металлических листов 2 с лунками 9 на одной боковой поверхности и выступами 8 под ними на противоположной боковой поверхности, каналов 3 прямоугольного поперечного сечения для движения паровоздушной смеси, деревянных брусков 4, каналов 5 прямо-

угольного поперечного сечения для движения нагреваемого приточного воздуха, стяжных болтов 6, распорных втулок 7.

Теплообменные "олуненные" листы тонкие с толщиной $\delta \leq 1$ мм, преимущественно алюминиевые, имеют прямоугольную форму. Количество их в теплоуловителе определяется из теплового расчета. Расстояние между теплообменными листами (ширина каналов) устанавливается длиной распорных втулок 7, свободно надетых на стяжные болты 6.

Деревянные бруски 4, устанавливаемые между теплообменными листами, позволяют создать сквозные каналы для движения соответствующего потока с однократным перекрестным током. Каждая пара смежных теплообменных листов, образующих канал для движения ПВС, располагается так, чтобы лунки на боковой поверхности одного листа были зеркально обращены к лункам на боковой поверхности соседнего листа, что способствует наибольшему эффекту интенсификации теплоотдачи.

Полусферические лунки диаметром $d_{\text{л}}$ имеют шахматное расположение с поперечным S_1 и продольным S_2 шагами, при этом для достижения максимального интенсифицирующего эффекта от возникновения смерчеобразных вихрей [8] необходимо предусматривать значение $S_2 > S_1$.

При шахматном расположении лунок на листе необходимо, чтобы их глубина была достаточной для возникновения под каждой лункой на противоположной стороне этого листа удобообтекаемых выступов, при этом они также будут располагаться шахматно по отношению к направлению движения нагреваемого воздуха в продольном направлении и создавать высокоинтенсивный теплообмен нагреваемого воздуха при умеренном росте аэродинамического сопротивления.

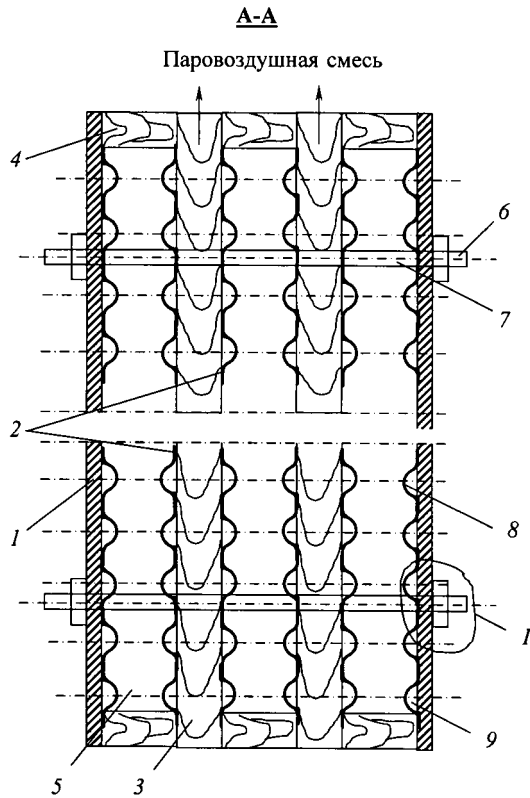
При плотности лунок на листе менее 70 % при вихревой интенсификации теплоотдачи известная аналогия Рейнольдса [8] реализуется в пользу теплоотдачи, т.е. увеличение теплоотдачи опережает прирост сопротивления, что представляет наибольшую энергетическую выгоду.

Теплоуловитель работает следующим образом. Паровоздушная смесь движется принудительно снизу вверх по прямым каналам 3, в лунках генерируются мелкие смерчеобразные вихри, интенсифицирующие теплоотдачу. Тепловой поток от ПВС передается через стенку листов 2 к потоку нагреваемого воздуха, движущегося по прямым каналам 5 перекрестно к потоку ПВС, в результате чего воздух подогревается, тем самым утилизируется теплота ПВС. Выступы 8 разрушают и обновляют пограничный слой нагреваемого воздуха, что интенсифицирует теплоотдачу. Таким образом, применение в теплоуловителе "олуненных" теплообменных листов обеспечивает одновременно двухстороннюю интенсификацию теплоотдачи высокой энергетической эффективности.

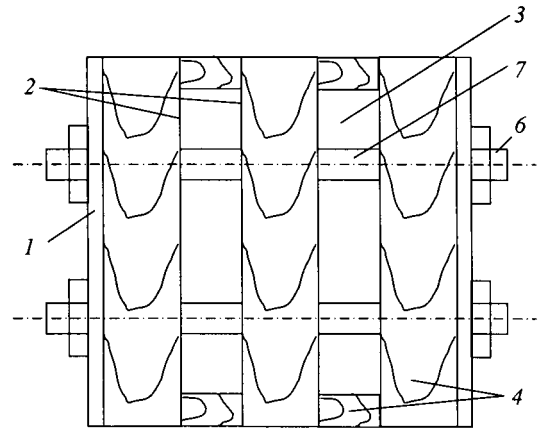
Генерируемые лунками в пограничный слой ПВС вихри препятствуют осаждению загрязнений на поверхности листа, что повышает эксплуатационную надежность аппарата и снижает потребляемую мощность вытяжным вентилятором.

Нанесение лунок на листе возможно штамповкой, которая относится к высокопроизводительным технологическим процессам и увеличивает стоимость листа менее 3÷5 %. Применение "олуненных" листов не требует изменения технологии сборки теплоуловителя.

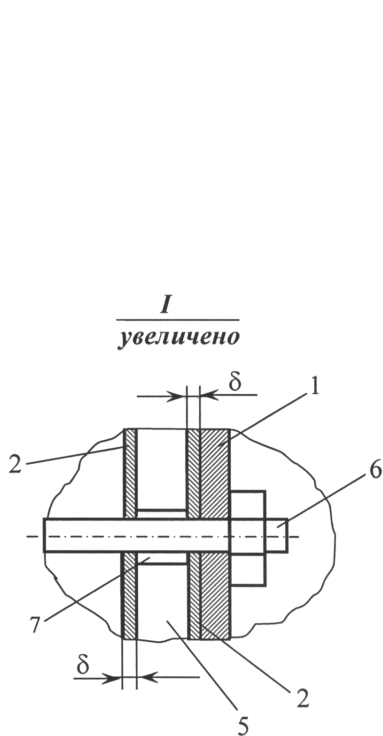
Полезная модель может быть использована научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими институтами химического машиностроения, разрабатывающими системы технологической вентиляции оборудования целлюлозно-бумажных комбинатов, а также системы кондиционирования и вентиляции промышленных цехов, зрелищных зданий и сооружений.



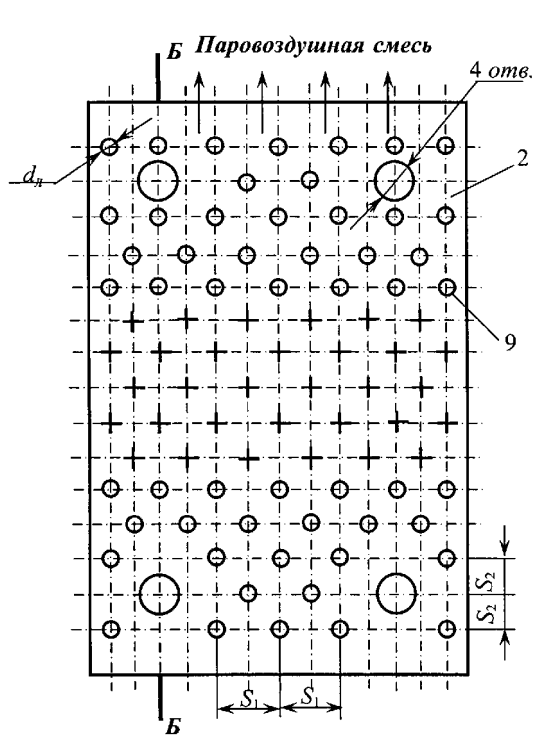
Фиг. 2



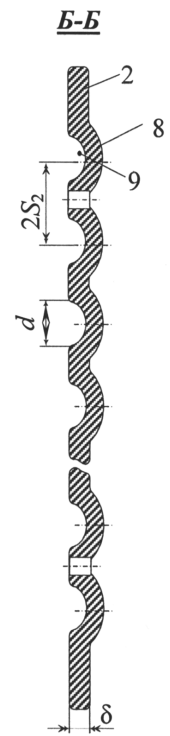
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6