

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 10716

(13) U

(46) 2015.06.30

(51) МПК

F 28F 1/24 (2006.01)

F 28F 9/00 (2006.01)

(54)

СЕКЦИЯ ТЕПЛОУЛОВИТЕЛЯ

(21) Номер заявки: u 20140431

(22) 2014.11.25

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

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович;
Сухоцкий Альберт Борисович;
Филатов Святослав Олегович; Скроцкий
Алексей Игоревич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования
"Белорусский государственный техно-
логический университет"
(ВУ)

(57)

Секция теплоуловителя прямоугольного фронтального сечения, содержащая трубные решетки, закрепленные вертикально в них шахматно или коридорно с поперечным S_1 и продольным S_2 шагами круглые трубы и боковые ограждающие листы, отличающаяся тем, что применены тонкостенные полиуретановые трубы с волнообразной стенкой, армированные упругой непрерывной стальной проволокой с шагом s между витками спирали, при этом трубы перед закреплением в решетках предварительно растянуты в направлении продольной оси на 10-20 % их первоначальной отрезной длины.

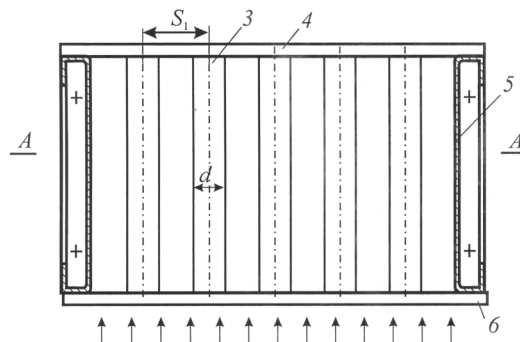
(56)

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

2. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. - М. - Л.: Энергия, 1966. - С. 134-149.

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

4. Патент РБ на полезную модель 8132, 2012.



Фиг. 2

5. Антуфьев В.М., Гусев Е.К., Ивахненко В.В., Кузнецов Е.Ф., Ламм Ю.А. Теплообменные аппараты из профильных листов. - Л.: Энергия, 1972. - С. 92-93 (прототип).
6. Трофимов С.П. Цеховые системы аспирации и пневмотранспорта измельченных древесных отходов. - Минск: БГТУ, 2010. - С. 22-33.
7. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. - М.: Энергоатомиздат. - С. 62-65, 177-191.
8. Бельский А.П., Лотвинов М.Д. Вентиляция бумагоделательных машин. - М.: Лесная промышленность, 1990. - С. 161-169.
9. Бузник В.М. Интенсификация теплообмена в судовых установках. - Л.: Судостроение, 1969. - С. 68-85.

Полезная модель относится к поверхностным рекуперативным трубным газогазовым теплообменным аппаратам с атмосферным давлением теплоносителей и предназначена преимущественно для применения в теплорекуперационных агрегатах (ТРА) бумаго- и картоноделательных машин с целью утилизации теплоты паровоздушной смеси (ПВС), удаляемой из сушильной части в окружающую среду. По функциональному назначению эти аппараты в данном конкретном случае называются теплоуловителями и относятся к секционным теплообменникам вследствие набора требуемой площади теплопередачи (теплообмена) из отдельных секций, количество которых устанавливается расчетом.

Известна конструкция теплоуловителя [1], применяемая в системах технологической вентиляции сушильной части бумагоделательных машин и цехов их эксплуатации. Теплопередающая поверхность состоит из гладких алюминиевых листов толщиной $\delta \approx 0,7-0,8$ мм с размерами 2×1 м. Листы складываются между собой так, чтобы образовались чередующиеся вертикальные и горизонтальные каналы шириной $a \approx 16-20$ мм, не сообщающиеся между собой. При теплоаэродинамических расчетах за линейный определяющий размер принимается эквивалентный диаметр канала $d_e \approx 2a$. По вертикальным каналам снизу вверх движется ПВС, а по горизонтальным - нагреваемый воздух, схема движения потоков - однократный перекрестный ток. Коэффициент компактности теплоуловителя до $80 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Недостатками пластинчатых теплоуловителей являются сложная технология их изготовления, значительные габариты и масса вследствие низкой тепловой эффективности, обусловленной безотрывным движением рабочих сред (воздушных потоков внутри прямых длинных узких каналов прямоугольного поперечного сечения).

Известна конструкция теплоуловителя [2] из профильных алюминиевых листов толщиной $\delta = 1$ мм, в которой частично устранены отмеченные недостатки по причине применения в конструкции каналов с уменьшенным эквивалентным диаметром до $d_e \approx 11-17$ мм, что интенсифицировало заметно теплоотдачу наряду с организацией волнообразного движения нагреваемого воздуха. Компактность возросла до $120 \text{ м}^2/\text{м}^3$, теплоуловитель оказался меньших габаритов и массы, но возросла загрязняемость в углах двухугольных каналов по стороне движения ПВС. Для сохранения повышенных энергетических характеристик и обеспечения длительной эксплуатационной надежности потребовалась установка на входе ПВС в теплоуловитель очистных фильтров [3], что повысило аэродинамическое сопротивление движению ПВС и, следовательно, затраты энергии на привод вытяжного устройства. Снизилась экономическая эффективность, усложнилась эксплуатация, что препятствует их широкому внедрению в ТРА бумаго- и картоноделательных машин.

В предложенном теплоуловителе [4] применена вихревая интенсификация теплоотдачи, что позволило существенно увеличить энергетическую эффективность и снизить металлоемкость. Для этой цели на исходных гладких алюминиевых листах штамповкой нанесены полусферические лунки такой глубины, при которой на противоположной сто-

роне возникли удобообтекаемые выступы под лунками. Лунки образуют вихри, которые препятствуют осаждению загрязнений, но за выступами с подветренной стороны возникают очаги загрязнений. Возникла дополнительная операция по нанесению лунок, технология сборки теплоуловителя не упростилась, осталась такой же, что и в гладкопластинчатом аппарате.

Общеизвестна конструкция теплоуловителя [5] трубчатого типа, принятого нами за прототип, применяемая в многоступенчатых ТРА бумаге- и картоноделательных машин. Теплоуловитель состоит из алюминиевых труб наружного диаметра $d = 38-40$ мм с толщиной стенки $\delta = 1,0-1,5$ мм. Трубы расположены в трубных решетках коридорно с поперечным шагом $S_1 = 60$ мм и продольным $S_2 = 60$ мм. Также возможна и шахматная компоновка труб с шагами $S_1 = 50$ мм и $S_2 = 44$ мм. Коэффициент компактности возрос от 33 до $54,2 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Нагреваемый воздух движется горизонтально в межтрубном пространстве перпендикулярно продольной оси труб, а ПВС движется вертикально внутри труб снизу вверх.

Достоинства теплоуловителя: низкая загрязняемость внутренней поверхности труб вследствие большого внутреннего диаметра и постоянного смыва волокон бумажной массы стекающим конденсатом водяного пара ПВС, уменьшенное аэродинамическое сопротивление по воздушной стороне. Однако и в этой конструкции не удалось устранить принципиальные недостатки: громоздкость, значительную массу, пониженную энергетическую эффективность, что связано с низкой интенсивностью теплоотдачи по обеим сторонам рабочих сред.

Общим недостатком всех проанализированных конструкций теплоуловителей является необходимость применения теплопередающей поверхности из нержавеющей стали в случае удаления ПВС от сушильной части машин, вырабатывающих вискозную целлюлозу, когда бумажная масса имеет показатель кислотности $\text{pH} \leq 4$ (кислая среда). Масса и стоимость теплоуловителей возрастают.

Задача полезной модели - повышение энергетической эффективности теплоотдачи и теплопередачи, снижение массы и объема секции, повышение эксплуатационной надежности и коррозионной стойкости.

Поставленная задача достигается в секции теплоуловителя прямоугольного фронтального сечения, содержащей трубные решетки, закрепленные вертикально в них шахматно или коридорно с поперечным S_1 и продольным S_2 шагами круглые трубы и боковые ограждающие листы, отличающейся тем, что применены тонкостенные полиуретановые трубы с волнообразной стенкой, армированные упругой непрерывной стальной проволокой с шагом s между витками спирали, при этом трубы перед закреплением в решетках предварительно растянуты в направлении продольной оси на 10-20 % их первоначальной отрезной длины.

Принципиальным отличием предлагаемой секции по сравнению с прототипом является применение в ней в качестве поверхности теплопередачи тонкостенных полиуретановых труб с волнообразной стенкой, которая армирована упругой стальной проволокой малого диаметра $\approx 0,7-1,0$ мм, навитой по спирали внутри толщины стенки с некоторым шагом s между витками спирали. Такие трубы с внутренней стороны имеют плавноочерченные удобообтекаемые выступы высотой h , которые играют роль шероховатости на стенке и выполняют турбулизирующее воздействие на движущийся поток ПВС, а с наружной стороны трубы (на внешнем диаметре d) образуются впадины с небольшим углом наклона к направлению перпендикулярного потока воздуха, разрушающие пограничный слой.

Предлагаемые к применению трубы [6] изготавливаются в промышленных объемах и характеризуются следующими положительными свойствами: рациональными аэродинамическими параметрами, легкостью, коррозионной стойкостью к химически агрессивным средам, широким температурным диапазоном режимов эксплуатации от -40 до 125 °С,

трудновоспламеняемостью, устойчивостью к вибрациям, высокой прочностью на растяжение и на разрыв.

При осуществлении полезной модели могут быть получены следующие технико-экономические результаты. Для оптимальной высоты h и шага s спиральных плавноочерченных выступов интенсификация теплоотдачи [7] при движении ПВС внутри труб в среднем составляет 1,8-2,0 раза в интервале изменения скорости смеси 9-11 м/с в промышленных теплоуловителях при относительно небольшом росте аэродинамического сопротивления в 2,6-2,45 раза в сравнении с гладкими трубами. Энергетическая (тепловая) эффективность теплоотдачи ПВС увеличится в 1,6-1,7 раза при одинаковой затрате мощности $N = \text{idem}$ на прокачку ПВС через трубы. При поперечном обтекании труб снаружи воздухом коэффициент теплоотдачи и аэродинамическое сопротивление от воздействия канавок на поверхности возрастут одинаково на 15-20 %, что соответствует увеличению энергетической эффективности пучка труб по внешней стороне в 1,1 раза.

Для оценки изменения коэффициента теплопередачи секции с предлагаемой конструкцией трубы выполнены нижеследующие расчеты. Примем по данным примера [8] коэффициент теплоотдачи ПВС при движении ее внутри гладкой алюминиевой трубы $\alpha_1 = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а коэффициент теплоотдачи воздуха при поперечном обтекании труб (межтрубное пространство) $\alpha_2 = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, толщина стенки трубы $\delta = 1,5 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности алюминия $\lambda = 210 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Данные относятся к прототипу, т.е. базовой конструкции секции теплоуловителя.

Коэффициент теплопередачи составит:

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{40} + \frac{0,0015}{210} + \frac{1}{80} \right)^{-1} = 26,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

В предлагаемой полезной модели имеем $\alpha_1 = 1,9 \cdot 40 = 76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_2 = 1,175 \cdot 80 = 94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\delta = 1,5 \text{ мм}$, $\lambda = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Тогда коэффициент теплопередачи:

$$k = \left(\frac{1}{76} + \frac{0,0015}{0,35} + \frac{1}{94} \right)^{-1} = 35,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Видно, что коэффициент теплопередачи в полезной модели увеличился в $35,6/26,7 = 1,33$ раза и это несмотря на весьма ощутимое ухудшение теплопроводности армированной полиуретановой стенки в $210/0,35 = 600$ раз. Совершенно очевидно, что энергетическая эффективность теплопередачи полезной модели превышает эту характеристику для прототипа. Площадь поверхности F теплопередачи полезной модели уменьшится как минимум в 1,33 раза.

От воздействия аэродинамического давления поперечного потока воздуха вследствие отрыва вихрей в окрестности миделева сечения трубы возникают вибрации трубного пучка, что сопровождается дополнительной интенсификацией теплоотдачи [9] с обеих сторон. Поэтому полученное значение снижения F является нижним пределом, в действительности оно больше.

Меньшая площадь F теплопередачи сопровождается улучшением габаритно-массовых параметров секции теплоуловителя, т.е. уменьшением массы и занимаемого объема. Дополнительное снижение массы возникает от меньшей плотности $\rho \approx 1350 \text{ кг}/\text{м}^3$ полиуретановой трубы в сравнении с алюминиевой базовой трубой $\rho = 2670 \text{ кг}/\text{м}^3$. Плотность меньше приблизительно в два раза.

Вибрация труб препятствует осадению загрязнения на стенке, но решающее влияние оказывает плавноочерченные выступы с вихреобразованием, вызывающие самоочистку [7] стенки от волокон с выносом последних в ядро ЛВС и далее поступающие с водой в отстойный бак.

В итоге возрастает эксплуатационная надежность, увеличиваются временные сроки между выводами из эксплуатации теплоуловителя на очистку, снижаются эксплуатацион-

ВУ 10716 U 2015.06.30

ные затраты. Стойкость полиуретана к кислым средам расширяет диапазон применимости теплоуловителя по технологическим режимам производства бумаги и картона.

Особенность тонкостенных полиуретановых труб даже при наличии армирования стальной проволокой заключается в небольшой поперечной жесткости, что приводит к их повышенной гибкости. Для обеспечения неизменности проходного сечения каждого поперечного ряда труб по воздуху необходимо обеспечить постоянное значение шага S_1 . Это достигается предварительным растяжением (удлинением) трубы в направлении продольной оси на 10-20 % от ее отрезной длины перед закреплением концов в трубных решетках. Применение этой операции выполняет важную теплоэнергетическую задачу, так как позволяет достичь требуемых оптимальных параметров h и s , вычисленных предварительным расчетом с учетом достижения максимальной энергетической эффективности полезной модели.

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

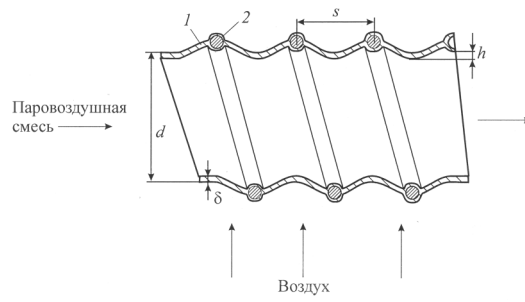
Полезная модель поясняется фиг. 1-4. На фиг. 1 изображен продольный разрез полиуретановой армированной трубы; на фиг. 2 - вид спереди на секцию теплоуловителя; на фиг. 3 представлен вид сверху на секцию теплоуловителя; на фиг. 4 - фрагмент шахматной разбивки труб.

Круглая труба наружного диаметра d со спиральными выступами высотой h и шагом s имеет полиуретановую стенку 1 толщиной δ , которая армирована стальной упругой спиральной проволокой 2. Проволока заключена внутри толщины стенки и не имеет прямого контакта с рабочей средой.

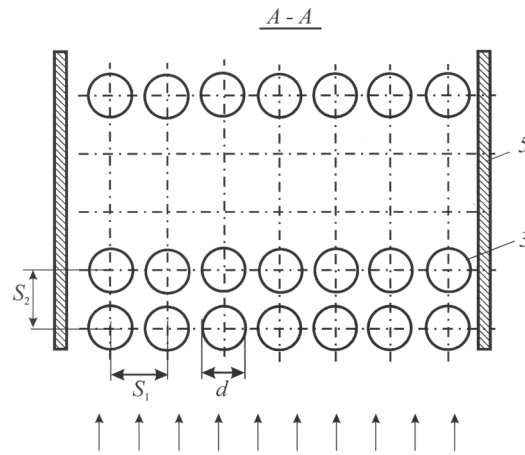
Секция теплоуловителя содержит круглые полиуретановые трубы 3, верхнюю 4 и нижнюю 6 трубные решетки, в которых закреплены концы труб, и боковые ограждающие листы 5 для направления нагреваемого потока воздуха в межтрубное пространство пучка перпендикулярно продольной оси труб. Трубы в решетках пучка расположены коридорно с поперечным S_i и продольными S_2 шагами или шахматно с шагами S_1 и S_2 (фиг. 4), но по вершинам равностороннего треугольника с шагом $S_1 = S_2'$, а $S_2 = 0,866 S_1$, где S_2' - диагональный шаг. Трубы располагаются вертикально.

Секция теплоуловителя работает следующим образом. Внутри труб 3 снизу вверх принудительно подается ПВС из сушильной части буммашины, которая охлаждается, передавая тепловой поток нагреваемому воздуху, движущемуся принудительным потоком со скоростью 8-11 м/с в межтрубном пространстве секции, обтекая трубы снаружи. Тепло конвекцией от наружной поверхности труб передается воздуху, который движется через межтрубное пространство, ограниченное трубными решетками 4, 6 и ограждающими листами 5. Воздух нагревается и направляется на вентиляцию машинного зала или вентиляцию сушильной части машины. Охлажденная ПВС выбрасывается в окружающую среду.

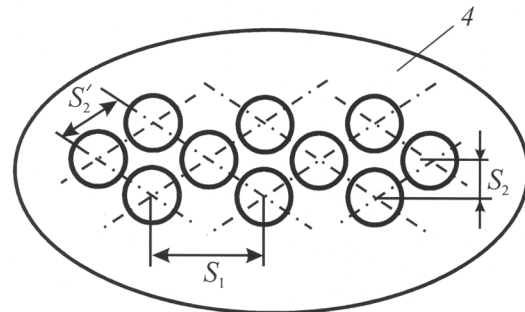
Полезная модель может быть использована проектно-конструкторскими институтами химического машиностроения при разработке системы технологической вентиляции оборудования целлюлозно-бумажных комбинатов, а также системы кондиционирования и вентиляции промышленных цехов, сооружений и зданий общественно-массового назначения.



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4