

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **177 497** (13) **U1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[F28F 13/18 \(2006.01\)](#)  
[F28F 21/08 \(2006.01\)](#)

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 19.03.2018)  
Пошлина: учтена за 2 год с 09.12.2017 по 08.12.2018

(21)(22) Заявка: **2016148071**, **08.12.2016**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**08.12.2016**Дата регистрации:  
**28.02.2018**Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: **08.12.2016**(45) Опубликовано: **28.02.2018** Бюл. № **7**(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **US 6082353 A, 04.07.2000. CN**  
**203757690 U, 06.08.2014. RU 2377490 C1,**  
**27.12.2009.**Адрес для переписки:  
**620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,**  
**УРФУ, Центр интеллектуальной**  
**собственности, Маркс Т.В.**

(72) Автор(ы):

**Микула Владимир Анатольевич (RU),**  
**Рыжков Александр Филиппович (RU),**  
**Богатова Татьяна Феокистовна (RU),**  
**Гильметдинова Юлия Радиковна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

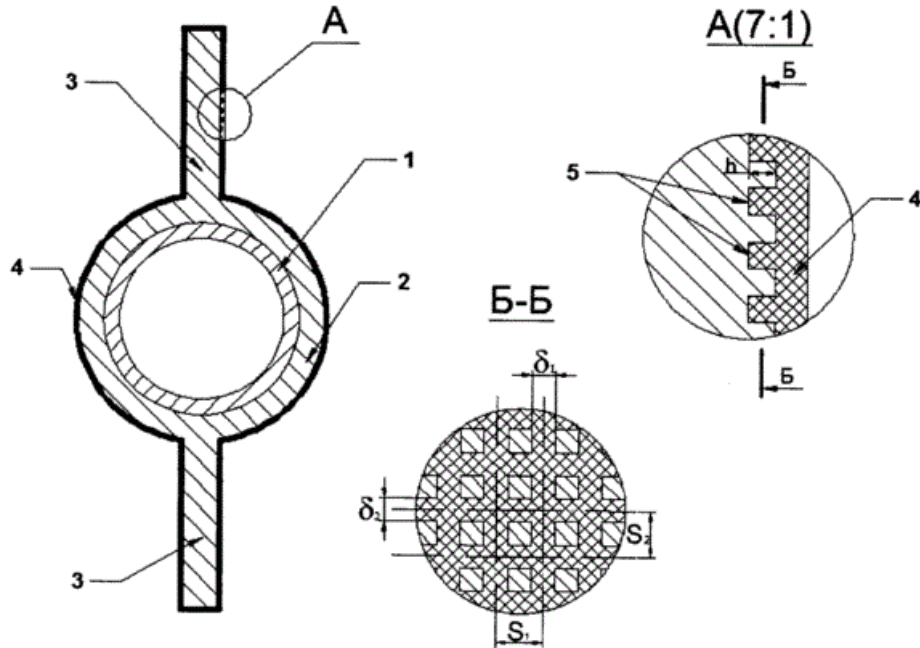
**Федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего**  
**образования "Уральский федеральный**  
**университет имени первого Президента**  
**России Б.Н. Ельцина" (RU)**

**(54) ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ ТРУБНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ЗАПЫЛЕННОГО ПОТОКА**

(57) Реферат:

Высокотемпературный теплообменный трубный элемент для запыленного потока состоит из внутренней жаропрочной трубы, плотно прилегающей к ней наружной трубы из углеродистой стали с двухсторонним продольным оребрением. Поверхность наружной трубы с ребрами покрыта сеткой продольных и поперечных канавок, и вся эта поверхность покрыта жаростойким покрытием. Предлагаемая конструкция может использоваться в энергетике и металлургии с целью высокотемпературного нагрева компримированного воздуха от продуктов сгорания с золовыми частицами. С ее помощью можно увеличить долговечность конструкции за счет увеличения сцепление покрытия с металлом и стойкости конструкции к абразивному износу золовыми

частицами.



Фиг. 1

Высокотемпературный теплообменный трубный элемент для запыленного потока предназначен для использования в энергетике и металлургии с целью высокотемпературного нагрева компримированного воздуха от продуктов сгорания с золовыми частицами. В частности, в энергетике для парогазовых установок (ПГУ) с внутрицикловой газификацией (ВЦГ) твердого топлива.

Одной из разновидностей ПГУ с ВЦГ является гибридная схема на основе процессов термообработки угля и «внешнего» сжигания топлива. Ключевым элементом в разрабатываемой схеме является воздушный котел, в котором в конвективной шахте нагревается компримированный воздух.

Интенсивность теплоотдачи со стороны компримированного воздуха (при давлении 2-4 МПа) на порядок выше, чем со стороны продуктов сгорания (при атмосферном давлении). Для снижения термического сопротивления со стороны продуктов сгорания чаще используется продольное оребрение труб, поскольку оно позволяет обеспечить минимальные золовые отложения.

Известны патенты, использующие продольное оребрение на трубах для интенсификации теплообмена: WO 2013/024201 A1; CN 103697738 A; CN 203757690 U; PL 210933 B1; US 4160476 A; US 006082353 A.

Если использовать аналоги WO 2013/024201 A1; CN 103697738 A; CN 203757690 U; PL 210933 B1, то для обеспечения с помощью указанных конструкций нагрева компримированного воздуха до температур 800-900°C необходимо использовать трубы с продольным оребрением из жаропрочного и жаростойкого сплава, стоимость которого в ~50-100 раз выше, чем углеродистые стали.

Наиболее близким решением, принятым за прототип, является конструкция биметаллического трубного элемента с двухсторонним продольным оребрением (по патенту US 006082353 A). Если в этой конструкции внутренняя труба будет из жаропрочного сплава, способного выдерживать давление воздуха 2-4 МПа при температуре стенки (~1000°C), а наружная труба с продольными ребрами из более дешевого материала, например, из углеродистой стали с защитным покрытием (разработанным Уральским институтом металлов (УИМ) за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524)), обеспечивающим жаростойкость конструкции до 1050°C, то такая конструкция позволит снизить затраты на металл в разы. Однако остается актуальной задача по долговечности такой конструкции в условиях абразивного износа теплообменного элемента частицами и вероятности локальных повреждений покрытия.

Технический результат - увеличение долговечности покрытия достигается тем, что в высокотемпературном биметаллическом трубном теплообменном элементе, состоящим из внутренней жаропрочной трубы и плотно прилегающей к ней наружной трубы из углеродистой стали с двухсторонним продольным оребрением и наружным покрытием, на поверхности наружной трубы и ребер выполнены продольные и поперечные канавки, при этом глубина (h) и ширина канавок в продольном ( $\delta_1$ ) и поперечном ( $\delta_2$ ) направлениях могут быть равны  $0,1 \pm 0,3$  мм, а шаги между канавками в продольном  $s_1$  и поперечном направлении  $s_2$  могут быть равны  $0,2 \pm 0,6$  мм.

Предлагаемая конструкция «высокотемпературного теплообменного трубного элемента для запыленного потока» решает поставленную задачу увеличения долговечности покрытия за счет увеличения сцепления покрытия с металлом,

поскольку сетка канавок 5 (фиг. 1) увеличивает площадь контакта между покрытием и металлом. Кроме того, увеличивается стойкость конструкции к абразивному износу золовыми частицами, поскольку увеличивается толщина покрытия за счет покрытия расположенного в канавках.

На фиг. 1 показан поперечный разрез теплообменного элемента, он состоит из внутренней жаропрочной трубы 1 и плотно прилегающей к ней наружной трубы из углеродистой стали 2, которая имеет двухстороннее продольное ребрение 3. На наружной поверхности трубы 2 и ребер 3 выполнены продольные и поперечные канавки 5, эта поверхность защищена покрытием 4.

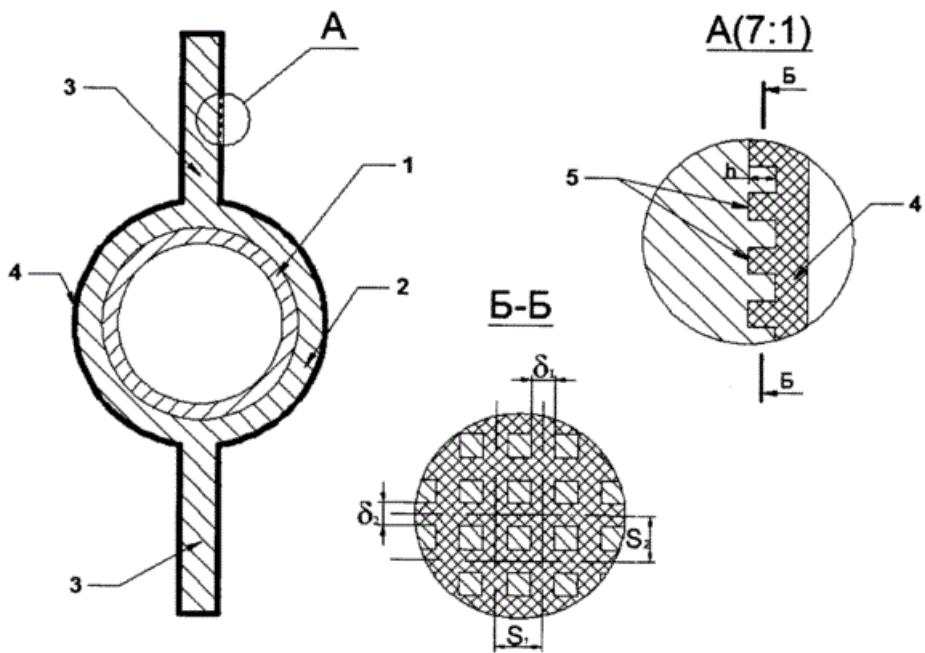
Устройство действует следующим образом, труба 1 обеспечивает прочность конструкции при избыточном давлении внутренней среды и высокой температуре. Наружная труба 2 имеет продольные ребра 3, что позволяет уменьшить термическое сопротивление с внешней поверхности, плотный контакт между внутренней и внешней трубой минимизирует контактное термическое сопротивление. Выполненные на поверхности трубы 2 и ребер 3 продольные и поперечные канавки 5, обеспечивая лучшее сцепление покрытия 4 с трубой 2 и ребрами 3, что увеличивает долговечность конструкции.

Поскольку по данным исследований разработчиков покрытия (УИМ), наиболее эффективная его толщина -  $0,1 \pm 0,3$  мм, то этот размер будет оптимальным: для глубины ( $h$ ) и ширины канавок в продольном ( $\delta_1$ ) и поперечном ( $\delta_2$ ) направлениях; а шаги между канавками в продольном  $s_1$  и поперечном направлении  $s_2$  должны быть  $0,2 \pm 0,6$  мм.

#### Формула полезной модели

1. Высокотемпературный биметаллический трубный теплообменный элемент, состоящий из внутренней жаропрочной трубы и плотно прилегающей к ней наружной трубы из углеродистой стали с двухсторонним продольным ребрением и наружным покрытием, отличающийся тем, что на поверхности наружной трубы и ребер выполнены продольные и поперечные канавки.

2. Высокотемпературный биметаллический трубный теплообменный элемент по п. 1, отличающийся тем, что глубина ( $h$ ) и ширина канавок в продольном ( $\delta_1$ ) и поперечном ( $\delta_2$ ) направлениях равны  $0,1 \pm 0,3$  мм, а шаги между канавками в продольном  $s_1$  и поперечном направлении  $s_2$  равны  $0,2 \pm 0,6$  мм.



Фиг.1