

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 09.03.2016 - действует  
Пошлина: учтена за 5 год с 22.02.2016 по 21.02.2017(21), (22) Заявка: **2012106363/06**, **21.02.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**21.02.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **21.02.2012**(45) Опубликовано: [27.10.2013](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **US 2007/0269758 A1**, **22.11.2007**. **US 6354831**  
**B1**, **12.03.2002**. **US 2004/0152028 A1**, **05.08.2004**. **US**  
**5749721 A1**, **12.05.1998**. **SU 1740877 A1**, **15.06.1992**.

Адрес для переписки:

**634050**, г.Томск, пр. Ленина, 36, НИИ ПММ ТГУ,  
директору

(72) Автор(ы):

**Архипов Владимир Афанасьевич (RU)**,  
**Борисов Борис Владимирович (RU)**,  
**Гущин Александр Николаевич (RU)**,  
**Кирдяшкин Александр Иванович (RU)**,  
**Козлов Евгений Александрович (RU)**,  
**Куриленко Николай Ильич (RU)**,  
**Максимов Юрий Михайлович (RU)**

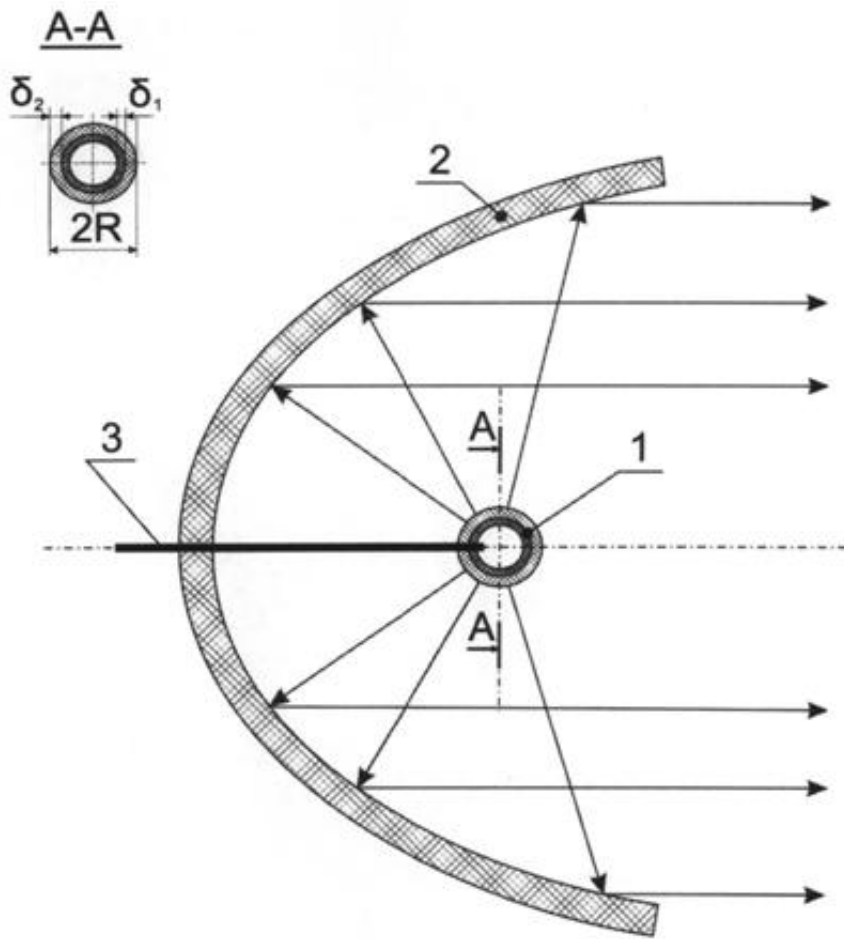
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего**  
**профессионального образования**  
**"Национальный исследовательский**  
**Томский государственный университет"**  
**(ТГУ) (RU)**

## (54) ИСТОЧНИК НАПРАВЛЕННОГО ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области теплоэнергетики и может быть использовано при разработке инфракрасных нагревателей направленного действия с высокими технико-экономическими свойствами для промышленных и бытовых нужд. Источник направленного инфракрасного излучения включает излучатель, расположенный в фокусе параболического рефлектора. Излучатель выполнен в виде полого шара из пористого интерметаллида - алюминий/никель или пористой керамики на основе карбида кремния. Внутренняя полость шара является смесителем газообразных компонентов топливной смеси. Излучатель ограничен двухслойной сферической оболочкой с разной пористостью слоев. Компоненты топлива в смеситель подаются через патрубок в виде коаксиальных трубок, на концах которых расположены тангенциальные каналы с противоположным направлением закрутки. Материалы, пористость, характерный размер пор и толщина слоев оболочки выбраны из условия обеспечения устойчивого беспламенного горения топливной смеси во внешней оболочке при отсутствии проскока пламени в центральную полость излучателя. Заявленное техническое решение позволяет осуществлять равномерный нагрев удаленных объектов направленным инфракрасным излучением с высоким КПД сжигания газообразного топлива. 1 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к области теплоэнергетики, а именно к радиационным излучающим горелкам, и может быть использовано в различных теплоэнергетических установках с высокими технико-экономическими характеристиками, например, в бытовых и промышленных нагревателях направленного действия, сушилках, печах и т.д.

В настоящее время известно большое количество конструкций газовых горелок, в которых используется процесс теплопередачи от нагревательного элемента к нагреваемому объекту за счет инфракрасного излучения.

Известна радиационная горелка [1], содержащая корпус с перфорированной крышкой, снабженный в выходном участке излучающей насадкой, установленной в нем с образованием распределительной камеры и подключенный к последней инжекционный смеситель. Тепловая энергия от сгорания топлива в излучающей насадке распределяется в основном между тепловым излучением поверхности насадки и нагретыми газообразными продуктами сгорания.

Известна горелка инфракрасного излучения, содержащая корпус, примыкающий к нему рефлектор, инжектор в виде сопла в области входного участка трубки смешения, отражатель, расположенный напротив выходного среза трубки смешения, керамическую излучающую насадку с плоскими входной и излучающей поверхностями и сетку-экран [2]. Сгорание топливной смеси происходит в зоне внутри каналов и на поверхности излучающей насадки с дожиганием несгоревших составляющих в области между керамической насадкой и сеткой-экраном. Применение сетки-экрана увеличивает радиационный КПД горелки.

Известен инфракрасный излучатель [3], изготовленный из каталитически активной керамики с радиальным подводом смеси газов, позволяющий получить высокую температуру излучающей поверхности и устойчивый поток излучения.

Наиболее близким техническим решением к заявленному изобретению является радиационная горелка [4], содержащая корпус со смесителем на его входе, излучатель (пористая пластина, обеспечивающая режим беспламенного горения топливной смеси), примыкающий к корпусу рефлектор с окнами для удаления продуктов сгорания, и трансформатор тепла - экран, изготовленный из непрозрачного или частично прозрачного для инфракрасного излучения материала.

Данное техническое решение направлено на обеспечение максимального нагрева экрана, непосредственно примыкающего к рефлектору, и не обеспечивает эффективный нагрев объектов, удаленных от радиационной горелки.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является создание источника направленного инфракрасного излучения с высокими экономическими и эксплуатационными характеристиками, обеспечивающего эффективный нагрев удаленных от источника объектов за счет получения слабо расходящегося потока теплового излучения.

Технический результат достигается тем, что разработанный источник направленного инфракрасного излучения включает излучатель из пористого материала и рефлектор в виде параболоида вращения. Излучатель, выполненный в виде полого шара из пористого интерметаллида или пористой керамики, расположен в фокусе рефлектора. Смесителем компонентов газообразного топлива является внутренняя полость излучателя, ограниченная двухслойной сферической оболочкой с разной пористостью слоев, в которую через патрубок подаются компоненты топлива. Размеры нагреваемого тела, рефлектора и излучателя связаны соотношениями

$$x_0 = \frac{r_0^2}{2p}, \quad R \leq p/3, \quad 2r_0 = D,$$

а пористость, характерный размер пор и толщина слоев оболочки составляют

$$\epsilon_1 = 60 \div 65\%, \quad \epsilon_2 = 90 \div 95\%,$$

$$\Delta_1 = 0.2 \div 0.5 \text{ мм}, \quad \Delta_2 = 2 \div 5 \text{ мм},$$

$$\delta_1 = 5 \div 7 \text{ мм}, \quad \delta_2 = 10 \div 15 \text{ мм},$$

где D - характерный размер нагреваемого тела;

$r_0$  - радиус выходного сечения рефлектора;

$x_0$  - расстояние по оси от вершины параболоида до его выходного сечения;

p - фокусное расстояние параболоида;

R - внешний радиус излучателя,

$\epsilon_1, \epsilon_2$  - пористость внутреннего и внешнего слоя соответственно;

$\Delta_1, \Delta_2$  - характерный размер пор внутреннего и внешнего слоя соответственно;

$\delta_1, \delta_2$  - толщина внутреннего и внешнего слоя соответственно.

Патрубок, подводящий компоненты топлива во внутреннюю полость излучателя, выполнен в виде двух коаксиальных трубок, на концах которых расположены тангенциальные каналы с противоположным направлением закрутки.

Для достижения высоких параметров радиационной теплоотдачи излучатель выполнен из интерметаллида алюминий/никель или пористой керамики на основе карбида кремния.

Достижение положительного эффекта настоящего изобретения обусловлено следующими факторами.

1. Сферическая форма поверхности излучателя обеспечивает равномерный поток теплового излучения в радиальном направлении. Полость излучателя служит камерой для смешения компонентов топлива.

2. Пористая поверхность имеет достаточно высокую излучательную способность (степень черноты) [5]. Поэтому использование пористой структуры внешней нагретой поверхности излучателя приводит к достаточно высоким значениям параметров преобразования тепловой энергии поверхности излучателя, нагретой в процессе сгорания топливной смеси, в поток лучистой энергии (высоким КПД теплоотдачи).

Из экспериментальных данных, приведенных в работе [6], следует, что излучательная способности пиролитического карбида кремния в интервале температур от 1200 К до 2800 К, находится в диапазоне соответственно от 0,82 до 0,96. Применение данного материала при изготовлении излучателя позволяет достигать высоких значений КПД излучателя даже для гладких нагретых поверхностей.

3. Благодаря своей геометрии излучатель может рассматриваться как точечный источник. Расположение сферического излучателя в фокусе парабооида позволяет лучам от нее согласно законам геометрической оптики [7, 8], отражаясь от рефлектора следовать параллельно его оси симметрии. В результате получается слаборасходящийся тепловой луч с равномерно распределенной по сечению плотностью теплового потока.

4. Для рассмотрения излучателя как точечного источника требуется, чтобы его радиус  $R$  был значительно меньше расстояния фокусного расстояния парабооида ( $R \ll r$ ). Однако оценочные расчеты показали, что при соотношения  $R < r/3$  выполнение условия рассмотрения излучателя как точечного источника выполняются с достаточной точностью.

5. Полное сгорание топливной смеси происходит в области более крупных пор наружной сферической оболочки, что обеспечивает нагрев наружной поверхности излучателя до высокой температуры. Меньший размер пор внутреннего слоя препятствуют проскоку пламени в камеру смешения. Результаты экспериментальных работ [9, 10] позволили определить диапазоны  $\epsilon, \Delta, \delta$  для каждого из слоев оболочки:

$$\epsilon_1 = 60 \div 65\%, \quad \epsilon_2 = 90 \div 95\%,$$

$$\Delta_1 = 0.2 \div 0.5 \text{ мм}, \quad \Delta_2 = 2 \div 5 \text{ мм},$$

$$\delta_1 = 5 \div 7 \text{ мм}, \quad \delta_2 = 10 \div 15 \text{ мм},$$

Эти параметры пор обеспечивают устойчивое беспламенное горение топливной смеси в области пор внешнего сферического слоя излучателя и отсутствие проскока пламени через поры внутреннего слоя в область смешения газов его центральной полости.

6. При истечении из патрубка через противоположно направленные тангенциальные каналы струи компонентов топлива взаимодействуют друг с другом. Благодаря встречному вихревому движению перемешивание компонентов топливной смеси происходит более быстро и полно [11].

Пример реализации данного изобретения приведен на Фиг.1. и Фиг.2. На Фиг.1 представлена общая схема источника направленного инфракрасного излучения. Цифрами обозначено: 1 - излучатель; 2 - параболический рефлектор; 3 - подводящий патрубок для компонентов топливной смеси. На разрезе (А-А) показаны основные размеры излучателя:  $\delta_1, \delta_2$

$\delta_1, \delta_2$  - толщины сферических слоев оболочки,  $R$  - внешний радиус. Более подробно схема патрубка в районе полости излучателя представлена на Фиг.2. Цифрами обозначено: 1 - внешний сферический слой; 2 - внутренний сферический слой; 3 - полость для смешения компонентов топливной смеси (смеситель); 4 - трубка для подачи горючего газа; 5 - трубка для подачи воздуха. На разрезах (А-А) и (В-В) соответственно показаны тангенциальные каналы, через которые происходит истечение газов во внутреннюю полость излучателя, и схемы движения компонентов топлива непосредственно в смесителе.

Нарушение параллельного следования наблюдается для лучей, которые достигают выходного сечения рефлектора, минуя его поверхность. На Фиг.3 представлена геометрическая схема меридионального сечения рассматриваемого устройства. Сферический излучатель помещен в фокус параболы, образующая которой описываемой зависимостью [7]:

$$r = \sqrt{2p \cdot x}$$

где  $x$ ,  $r$  - аксиальная и радиальная координаты;  $x=p$  - координата фокуса (фокусное расстояние) параболоида, отсчитанная от вершины параболы ( $x=0$ ) в направлении координатной оси  $x$ ,  $D$  - характерный размер нагреваемого тела.

Телесный угол, внутри которого лучи от фокуса, минуя рефлектор, направлены в виде расходящегося пучка, в меридиональном сечении соответствует плоскому углу  $2\omega$  на Фиг.3. Угол  $\omega$  связан с геометрическими характеристиками рефлектора зависимостью

$$\omega = \arctg\left(\frac{r_0}{x_0 - p}\right) = \arctg\left(\frac{\sqrt{2 \cdot p \cdot x_0}}{x_0 - p}\right)$$

где  $x_0 = \frac{r_0^2}{2 \cdot p}$  - координата выходного сечения рефлектора (Фиг.3).

Доля лучистой энергии  $n$ , распространяющаяся внутри соответствующего телесного угла и нарушающая параллельный ход лучей, соответствует отношению площади поверхности шарового сегмента  $S_\omega$ , опирающегося на телесный угол, соответствующий в меридиональном сечении плоскому углу  $2\omega$ , ко всей поверхности сферы  $S$  [7]:

$$n = \frac{S_\omega}{S} = \frac{2R^2(1 - \cos\omega)}{4\pi R^2} = \frac{(1 - \cos\omega)}{2}$$

Приведенные зависимости строго выполняются при условии рассмотрения излучателя как точечного источника. Предварительные расчеты по методике [8] показали, что с удовлетворительной точностью эти зависимости можно использовать при

$$R \leq \frac{p}{3}$$

Приведенные зависимости позволяют по характерному размеру нагреваемого тела (например, по диаметру нагреваемой пластины  $D$ , приведенной на Фиг.3) определить радиус выходного сечения рефлектора  $(r \approx D/2)$ .

Доля лучистой энергии, направленной параллельно оси симметрии рефлектора, и определяющая поверхность  $\left(\frac{S_\omega}{S} = \frac{(1 - \cos\omega)}{2}\right)$  равномерного нагрева, определяется выбором фокусного расстояния  $p$ . При малых значениях угла  $\omega$  направление лучей внутри этого угла от излучателя к выходному сечению рефлектора мало отличается от параллельного, а достижение необходимых значений  $n$  определяется выбором  $x_0$  и  $p$ .

Пример расчета 1.

Рассмотрим выбор геометрических характеристик рефлектора для нагрева объекта с характерным размером  $D=300$  мм. Выберем радиус излучателя  $R=30$  мм. Выбор радиуса излучателя обусловлен минимальными размерами двухслойной сферической оболочки ( $\delta_1=5$  мм,  $\delta_2=10$  мм), при этом радиус смесителя  $r_{кс}$  составляет  $r_{кс}=R-\delta_1-\delta_2=15$  мм, что позволяет обеспечивать смешение достаточно больших потоков топливной смеси. В расчетах величина  $n = S_\omega/S$  задавалась последовательно значениями 0.05, 0.10, и 0.25. В качестве основного размера нагреваемого объекта был принят. Рассчитанные геометрические размеры рефлектора составили:

- Для  $n=0.05$ . Фокусное расстояние  $p=1.095 R=33$  мм, расстояние от вершины рефлектора до выходного сечения  $x_0$

=343 мм, радиус выходного сечения рефлектора  $r_0=150$  мм;

- Для  $n=0.10$ . Фокусное расстояние  $p=1.526$   $R=46$  мм, расстояние от вершины рефлектора до выходного сечения  $x_0=246$  мм, радиус выходного сечения рефлектора  $r_0=150$  мм;

- Для  $n=0.25$ . Фокусное расстояние  $p=2.375$   $R=71$  мм, расстояние от вершины рефлектора до выходного сечения  $x_0=158$  мм, радиус выходного сечения рефлектора  $r_0=150$  мм.

Результаты примера свидетельствуют о достижения заявленной цели, несмотря на то, что условие рассмотрения излучающей сферы как точечного, выполняется приближенно.

Пример расчета 2.

Рассмотрим выбор геометрических характеристик рефлектора для нагрева объекта с характерным размером  $D=500$  мм. Радиус излучателя соответствует примеру 1 ( $R=30$  мм). В расчетах величина  $n = S_0/S$  задавалась последовательно значениями 0.05, 0.10, и 0.25. Рассчитанные геометрические размеры рефлектора составили:

- Для  $n=0.05$ . Фокусное расстояние  $p=1.825$   $R=55$  мм, расстояние от вершины рефлектора до выходного сечения  $x_0=571$  мм, радиус выходного сечения рефлектора  $r_0=250$  мм;

- Для  $n=0.10$ . Фокусное расстояние  $p=2.543$   $R=76$  мм, расстояние от вершины рефлектора до выходного сечения  $x_0=410$  мм, радиус выходного сечения рефлектора  $r_0=250$  мм;

- Для  $n=0.25$ . Фокусное расстояние  $p=3.959$   $R=119$  мм, расстояние от вершины рефлектора до выходного сечения  $x_0=263$  мм, радиус выходного сечения рефлектора  $r_0=250$  мм.

Результаты примера 2 свидетельствуют о достижения заявленной цели, при более строгом выполнении условия рассмотрения излучающей сферы как точечного источника.

По результатам приведенных примеров видно, что поставленная задача получения направленного, равномерно распределенного по поперечному сечению теплового потока излучения с высоким КПД теплоотдачи инфракрасного излучателя решена.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.А., Барыбин Н.Ф., Мягков К.Г., Попов Г.А., Соловьев Е.С., Якушин М.И. Радиационная горелка. Патент РФ № 2066023, МПК F23D 14/12 (Б.И. 27.08.1996).

2. Жебрак Ю.А., Сорокин В.И., Стопневич А.В., Вязков В.А. Горелка инфракрасного излучения. Патент РФ № 2084762, МПК F23D 14/12 (Б.И. 20.07.1997).

3. Анিকেев В.И., Кузин Н.А., Гудков А.В. Инфракрасный излучатель, способ проведения процесса горения углеводородного газового топлива и способ приготовления сложной керамики, активированной катализатором. Патент РФ № 2110015, МПК F23D (Б.И. 27.04.1998).

4. Барыбин Н.Ф., Красильников Е.Ю., Мягков К.Г., Якушин М.И. Радиационная горелка. Патент РФ № 2127849, МПК F23D 014/12 (Б.И. 20.03.1999).

5. Справочник по теплообменникам. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 560 с.

6. Петров В.А., Чеховской В.Я., Шейндлин А.Е., Дымов Б.К. Интегральная полусферическая излучательная способность пиролитических карбидов кремния и циркония. - в сб. «Теплофизические свойства твердых веществ». М: Наука, 1971 - С.137-139.

7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. - 544 с.

8. Гвоздев Н.П., Коркина К.И. Прикладная оптика и оптические измерения. М: Машиностроение, 1976. - 383 с.

9. Кирдяшкин А.И., Орловский В.М., Соснин Э.А. и др. Энергетические и спектральные характеристики излучения в процессе фильтрационного горения природного газа// Физика горения и взрыва. 2010. Т.46, № 5. - С.37-41.

10. Баев В.К., Бажайкин А.Н., Шумский В.В. Особенности горения углеводородных газов в составных пористых

### Формула изобретения

1. Источник направленного инфракрасного излучения, включающий пористый излучатель, смеситель компонентов газообразного топлива и рефлектор, отличающийся тем, что излучатель, выполненный в виде полого шара с двухслойной сферической оболочкой из пористого интерметаллида или пористой керамики с разной пористостью слоев, расположен в фокусе параболического рефлектора, смесителем является внутренняя полость излучателя, в которую через патрубок подаются компоненты топлива, причем размеры нагреваемого тела, рефлектора и излучателя находятся в соотношениях

$$2r_0=D, \quad x_0 = \frac{r_0^2}{2p}, \quad R \leq p/3,$$

а пористость, характерный размер пор и толщина слоев оболочки составляют

$$\epsilon_1=60... 65\%, \quad \epsilon_2=90... 95\%,$$

$$\Delta_1=0,2... 0,5 \text{ мм}, \quad \Delta_2=2... 5 \text{ мм},$$

$$\delta_1=5... 7 \text{ мм}, \quad \delta_2=10... 15 \text{ мм},$$

где D - характерный размер нагреваемого тела;

$r_0$  - радиус выходного сечения рефлектора;

$x_0$  - расстояние по оси от вершины параболоида до его выходного сечения;

p - фокусное расстояние параболоида;

R - внешний радиус излучателя,

$\epsilon_1, \epsilon_2$  - пористость внутреннего и внешнего слоев соответственно;

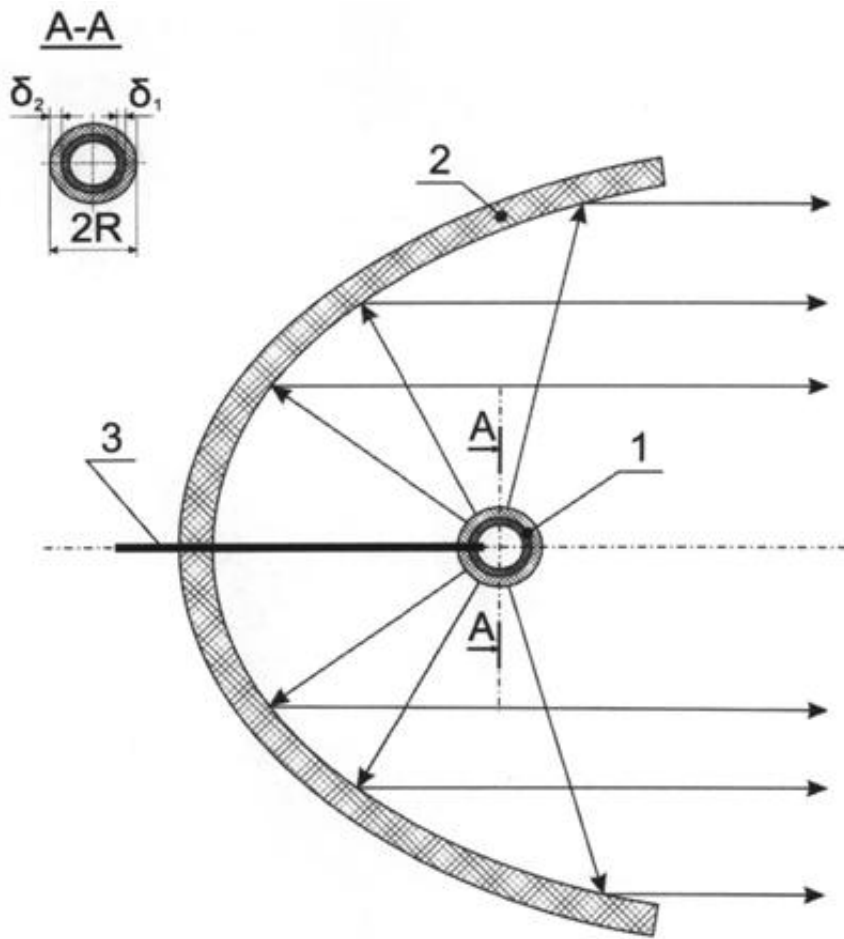
$\Delta_1, \Delta_2$  - характерный размер пор внутреннего и внешнего слоев соответственно;

$\delta_1, \delta_2$  - толщина внутреннего и внешнего слоев соответственно,

при этом патрубок выполнен в виде двух коаксиальных трубок, на концах которых расположены тангенциальные каналы с противоположным направлением закрутки.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что излучатель выполнен из интерметаллида алюминий/никель или пористой керамики на основе карбида кремния.

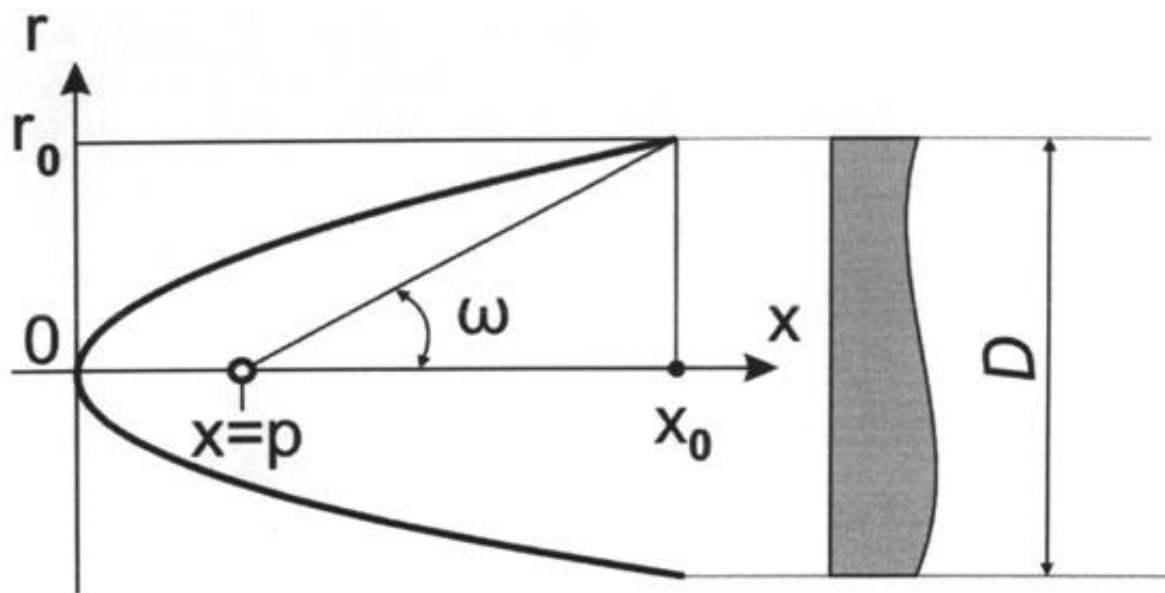
РИСУНКИ



Фиг. 1







Фиг. 3